COMPTES RENDUS

HEBDOMADAIRES

DES SÉANCES

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,

PUBLIÉS,

CONFORMÉMENT A UNE DÉCISION DE L'ACADÉMIE

EN DATE DU 13 JUILLET 1835,

PAR MM. LES SECRÉTAIRES PERPÉTUELS.

TOME CENT-QUATRE-VINGT-NEUVIÈME.

JUILLET — DÉCEMBRE 1929.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS et Cie, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DES COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1929

COMPTES RENDUS
DES SÉANCES
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

SEANCE DU LUNDI 1er JUILLET 1929.

PRÉSIDENCE DE M. Louis MANGIN.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS
DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

M. le **Président** annonce à l'Académie que la prochaine séance publique annuelle aura lieu le 16 décembre.

PHYSIQUE DU GLOBE. — *Marées dynamiques d'un océan compris entre deux parallèles. Loi de profondeur quelconque en latitude et longitude.* Note de M. **Marcel Brillouin**.

1. Pour l'étude des mouvements périodiques d'un océan liquide homogène de profondeur quelconque, et pesant, prenons des axes qui tournent avec le globe solide autour de l'axe des z, fixe, d'une vitesse angulaire constante $\omega \left(\frac{2\pi}{\omega} = 1 \text{ jour sidéral}\right)$. Soient ϖ la distance à l'axe des z, α la longitude, z la distance à l'équateur, du point étudié, dont la distance à l'origine (centre de gravité) est $\sqrt{\varpi^2 + z^2}$. Soient u, v, w les composantes suivant les directions ϖ, α, z de la vitesse du liquide qui passe en ce point M à l'époque t; p sa pression, ρ sa densité (uniforme et constante).

Soient $\mathfrak{P}_g$ le potentiel des actions newtoniennes provenant du globe et $\mathfrak{P}^e$ celui des actions newtoniennes d'origine externe. Je pose

$$\mathfrak{P} = -\frac{p}{\rho} + \mathfrak{P}_g + \frac{\omega^2\varpi^2}{2} + \mathfrak{P}^e.$$

Les équations eulériennes des petits mouvements relatifs sont

$$\dot{u} - 2\omega v = \frac{\partial \mathfrak{P}}{\partial \varpi}, \qquad \dot{v} + 2\omega u = \frac{1}{\varpi}\frac{\partial \mathfrak{P}}{\partial \alpha}, \qquad \dot{w} = \frac{\partial \mathfrak{P}}{\partial z},$$

$$\frac{1}{\varpi}\frac{\partial}{\partial \varpi}(\varpi u) + \frac{1}{\varpi}\frac{\partial v}{\partial \alpha} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0.$$

2. Supposons satisfaites les équations d'équilibre ou de courants permanents, et considérons les petits mouvements de période $\frac{2\pi}{\theta}$. Désignons par les mêmes lettres les amplitudes, et supprimons partout le facteur $e^{i\theta t}$, les équations à intégrer sont

(1) $$i\theta u - 2\omega v = \mathfrak{P}'_{\varpi}, \qquad i\theta v + 2\omega u = \frac{1}{\varpi}\mathfrak{P}'_{\alpha}, \qquad i\theta w = \mathfrak{P}'_{z}$$

où $\mathfrak{P}$ satisfait à l'équation

(I) $$\frac{1}{\varpi}\frac{\partial}{\partial \varpi}\left(\varpi \frac{\partial \mathfrak{P}}{\partial \varpi}\right) + \frac{1}{\varpi^2}\frac{\partial^2 \mathfrak{P}}{\partial \alpha^2} - \frac{4\omega^2 - \theta^2}{\theta^2}\frac{\partial^2 \mathfrak{P}}{\partial z^2} = 0.$$

Toutes les périodes imposées, lunaires ou solaires — même la plus courte d'entre elles, le demi-jour solaire — sont plus longues que le demi-jour sidéral. Le coefficient $4\omega^2 - \theta^2$ est toujours négatif — presque nul dans le dernier cas — pour toutes les marées imposées. L'équation est du type hyperbolique. Une fois $\mathfrak{P}$ connu, les trois vitesses sont déterminées.

3. Il y a une infinité de formes utilisables des intégrales de l'équation (I). Je vais en étudier une : Pour pouvoir satisfaire aux deux conditions, fond et surface libre, je prends $\left(\chi = \frac{\theta}{\sqrt{4\omega^2 - \theta^2}}\right)$

(II) $$\mathfrak{P} = \sum_{k=0} e^{ik\alpha} \int_0^\infty e^{i\gamma\chi z}[\mathrm{F}_k(\gamma)\mathrm{J}_k(\gamma\varpi) + \mathrm{G}_k(\gamma)\mathrm{Y}_k(\gamma\varpi)]\,d\gamma.$$

γ est une variable d'intégration réelle; $\gamma\varpi$ est réel; $\mathrm{F}_k(\gamma)$, $\mathrm{G}_k(\gamma)$ sont deux fonctions complexes arbitraires de la variable réelle γ.

4. Cette expression de $\mathfrak{P}$ est valable dans toute la masse liquide homogène, quelle qu'en soit l'épaisseur, à l'exclusion du voisinage de l'axe des z le long duquel tous les Y_k deviennent infinis. Cette exclusion, qui n'est pas irrémédiable, comme je le montrerai ailleurs, n'a pas d'inconvénient grave pour le globe terrestre. Au Sud, le continent antarctique arrête l'océan à 1500 ou 2000^{km} de l'axe de rotation. Au Nord, la communication entre l'océan polaire et l'Atlantique n'est établie que sur $\frac{1}{6}$ de son pourtour au

plus, et les profondeurs en sont incomplètement connues; en outre, les champs de glace qui en couvrent la plus grande partie changent évidemment les conditions à la surface libre; il est donc tout à fait raisonnable de l'exclure de la théorie générale, et d'en réserver l'étude, quitte à examiner plus tard les réactions de l'une sur l'autre. J'adopte donc la forme (II), et j'exclus tout l'intérieur d'un cylindre de 2000^{km} environ autour de l'axe des pôles, en établissant une barrière fictive du Groenland au Spitzberg.

5. *Fond.* — La vitesse normale au fond est nulle. Soit $h(\alpha, z)$ la profondeur de l'océan, au-dessous de la surface moyenne supposée sphérique de rayon R :

$$(2)\qquad \varpi = \sqrt{[R - h(\alpha, z)]^2 - z^2}.$$

Pour écrire l'équation au fond, je forme d'abord les vitesses en portant l'expression (II) de $\mathfrak{T}$ dans les équations (1); je substitue la valeur (2) de ϖ dans les J, J′, Y, Y′. Pour la terre il suffit d'écrire cette équation en conservant seulement les termes de l'ordre de h : R, et laissant de côté les termes du deuxième ordre; mais il ne faut pas oublier que h figure dans les J, Y, par ϖ. Un point du fond (peu ondulé) est défini sans ambiguïté par α et z. Je développe en série de Fourier suivant les longitudes α,

$$[h(\alpha, z) = h_0(z) + \ldots + e^{iq\alpha} h_q(z) \ldots],$$

et je groupe les termes ayant, par suite des multiplications, même $e^{iQ\alpha}$ en facteur, $(Q = k + q)$.

Sous le signe de sommation en Q et de quadrature en γ, j'ai ainsi les termes

$$(3)\qquad e^{iQ\alpha} \sum_{k=0}^{Q} [F_k(\gamma) Z_{k, Q-k} + G_k(\gamma) \mathfrak{Z}_{k, Q-k}],$$

avec

$$(4)\quad Z_{k, Q-k} = e^{i\gamma\chi z} \Big\{ h_q \Big[2R\theta^2\gamma^2 J''_k + (\theta\gamma + 2\omega k\gamma + 2\omega q\gamma - i\gamma^2 \sqrt{4\omega^2 - \theta^2}\, z) \times \frac{2\theta R}{\varpi_0} J'_k + 2qk\theta^2 \frac{R}{\varpi_0} J_k(\gamma\varpi_0) \Big] + \frac{\partial h_q}{\partial z} 2i\gamma\theta \sqrt{4\omega^2 - \theta^2}\, R J_k \Big\}.$$

A cette expression qui dépend de h, il faut ajouter pour $k = Q$, $q = 0$, c'est-à-dire dans $Z_{Q,0}$, des termes indépendants de h, que j'appelle N_Q :

$$N_Q = e^{i\gamma\chi z} [-2\theta^2\gamma\varpi_0 J'_Q + (-4\omega\theta Q + 2i\gamma\theta\sqrt{4\omega^2 - \theta^2}.z) J_Q].$$

Les expressions $\mathfrak{Z}_{k,q}$, $\mathfrak{N}_Q$ sont construites avec les Y_k comme $Z_{k,q}$, N_Q avec les J_k. Dans toutes, on a $\varpi_0 = \sqrt{R^2 - z^2}$.

La condition relative au fond établit entre les F_k et les G_k une dépendance déterminée, de proche en proche, par les équations ($Q=0$, $Q=1$, ...)

$$\text{(III)} \qquad \int_0^\infty \sum_{k=0}^{k=Q} [F_k(\gamma)\, Z_{k,Q-k} + G_k(\gamma)\, \mathfrak{Z}_{k,Q-k}]\, d\gamma = 0.$$

6. *Surface libre océanique.* — La surface libre comprend toute l'étendue océanique à l'exclusion des continents et des calottes polaires. La composante verticale de la vitesse est égale à $i\theta\varepsilon e^{i\theta t}$, ce qu'exprime l'équation

$$\text{(IV)} \quad \sum_{Q=0}^{\infty} e^{iQ\alpha} \int_0^\infty d\gamma\, e^{i\gamma\chi z}[F_Q(\gamma)\, N_Q(\gamma, z) + G_Q(\gamma)\, \mathfrak{N}_Q(\gamma, z)] = -(4\omega^2 - \theta^2)\theta^2 \varepsilon.$$

Sur cette même étendue, à la surface $R + \varepsilon e^{i\theta t}$, la pression est nulle,

$$\text{(V)} \qquad \mathfrak{T} = \mathfrak{T}_g + \mathfrak{T}^c + \omega^2 R \varepsilon,$$

équation où $\mathfrak{T}^c$ est l'amplitude du potentiel perturbateur, $\mathfrak{T}$ la grandeur définie par l'équation (II) (§ 3), prise pour $\varpi = \sqrt{R^2 - z^2}$, et $\mathfrak{T}_g$ le potentiel d'attraction du bourrelet, à peu près sous l'une des formes étudiées dans une précédente Note, auquel correspond un soulèvement

$$\text{(VI)} \quad \varepsilon = \frac{1}{4\pi G \rho_{aq}} \frac{1}{R} \sum_{Q=0}^{\infty} e^{iQ\alpha} \int_0^\infty d\gamma\, [A_Q(\gamma)\, e^{\gamma z} M_Q(\gamma, z) + B_Q(\gamma)\, e^{-\gamma z} M_Q(\gamma, -z)]$$

avec

$$\text{(VI)} \qquad M_Q(\gamma, z) = (1 - 2\gamma z)\, J_Q(\gamma\varpi_0) - 2\gamma\varpi_0\, J'_Q(\gamma\varpi_0).$$

A la surface des continents et des calottes polaires, pour achever la détermination des A_Q, B_Q, on doit mettre zéro à la place de ε au premier membre de l'équation précédente (VI).

7. Nous obtenons, pour déterminer les fonctions inconnues de γ, A_Q, B_Q réelles, F_Q, G_Q complexes, les équations suivantes indépendantes de α :

Calottes polaires et continents :

$$\text{(VII)} \qquad 0 = \int_0^\infty [A_Q(\gamma)\, e^{\gamma z} M_Q(\gamma, z) + B_Q(\gamma)\, e^{-\gamma z} M_Q(\gamma, -z)]\, d\gamma.$$

Océans :

$$\text{(VIII)} \quad \mathfrak{T}_Q^c(z, \varpi_0) = \int_0^\infty d\gamma \Big\{ e^{i\gamma\chi z}[F_Q J_Q(\gamma\varpi_0) + G_Q Y_Q(\gamma\varpi_0)] - A_Q e^{\gamma z}\left(J_Q(\gamma\varpi_0) + \frac{\omega^2}{4\pi G\rho_{aq}} M_Q(\gamma, z)\right) - B_Q e^{-\gamma z}\left(J_Q(\gamma\varpi_0) + \frac{\omega^2}{4\pi G\rho_{aq}} M_Q(\gamma, -z)\right)\Big\},$$

en posant

$$\mathcal{P}^c = \sum_{Q=0}^{\infty} \mathcal{P}_Q^c(z, \varpi)\, e^{iQ\alpha} \tag{7}$$

et

$$\text{(IX)} \quad 0 = \int_0^{\infty} d\gamma \Big\{ e^{i\gamma\chi z}[F_Q N_Q + G_Q \mathcal{N}_Q] + \frac{4\omega^2 - \theta^2}{4\pi G \rho_{aq}} \frac{\theta^2}{R} [A_Q e^{\gamma z} M_Q(\gamma, z) + B_Q e^{-\gamma z} M_Q(\gamma, -z)] \Big\}.$$

8. Il reste à bien définir les actions des rivages et à adapter les formules générales à la forme particulière de ceux-ci. Telles quelles, les formules conviennent pour un océan *limité par des parallèles, dont la profondeur suit une loi quelconque en latitude et en longitude*. Malgré leur apparence, les formules sont parfaitement maniables, et se prêtent à la détermination numérique complète des marées contraintes d'un tel océan. La vitesse verticale, évidemment très petite presque partout, n'a pas été supposée nulle *a priori;* elle peut devenir sensible dans quelques régions, probablement étroites.

MÉTÉOROLOGIE. — *Sur les associations de nuages*. Note (¹) de M. **P. Villard**.

J'ai récemment observé, dans d'excellentes conditions, un faux cirrus se formant visiblement suivant le mécanisme que des considérations *a priori* m'avaient précédemment fait admettre (²) (condensation, dans l'air extérieur froid, de la vapeur dégagée par un cumulus). Voici dans quelles circonstances le phénomène s'est produit :

Le 28 mai dernier, à Irun, à 7^h du soir (heure d'été), un gros cumulus, très proche, était coiffé par un nuage d'aspect entièrement différent, dont la surface très unie, un peu vaporeuse, et légèrement fibreuse par endroits sur le contour apparent, offrait avec celle du cumulus un contraste frappant. Presque certainement il s'agissait d'un cirrus. Ce nuage, ainsi que la partie supérieure du cumulus, se détachait avec une parfaite netteté sur le fond bleu vif d'une région entièrement libre du ciel.

Ce *cirrus adventif*, pour employer la dénomination que j'ai proposée

(¹) Séance du 24 juin 1929.

(²) *Comptes rendus*, **188**, 25 mars 1929, p. 890.

comme préférable à celle de *faux* cirrus, enveloppait entièrement le sommet du cumulus, auquel il paraissait adhérer étroitement, formant une sorte de turban à deux assises superposées, particulièrement développé du côté exposé au Soleil. Aucun vent relatif ne tendait à déformer cet ensemble, qu'un simple mouvement général de translation entraînait lentement vers le Nord.

Ce cirrus était en voie d'évaporation, et diminuait assez rapidement de volume. Bientôt les protubérances supérieures du cumulus émergèrent successivement, puis le sommet entier se dégagea, paraissant aussi indépendant qu'une masse solide de la nébulosité qui flottait à son contact sans pénétration ni mélange qui eussent altéré la netteté de sa surface.

En peu de minutes le cirrus disparut presque totalement, laissant le soleil, encore très haut, chauffer librement le cumulus. Pensant qu'en raison de la faible capacité calorifique des quelques grammes d'eau contenus par mètre cube dans un nuage l'évaporation serait rapidement activée, et que la vapeur, devenue plus abondante, donnerait lieu à une nouvelle condensation dans l'atmosphère froide où elle s'élèverait naturellement, j'ai continué à observer le nuage.

Les choses se passèrent ainsi que je l'avais prévu : au bout de peu d'instants, le cumulus sembla *fumer*; un nouveau cirrus adventif se forma, peu différent de celui qui s'était dissipé, et ne tarda pas à envelopper de même complètement la partie supérieure du cumulus. A partir de ce moment, et sans doute parce que les rayons solaires, maintenant arrêtés, ne pouvaient plus provoquer une vaporisation suffisamment rapide pour alimenter le cirrus, celui-ci commença à décroître de la même manière que celui qui l'avait précédé. Comme d'autres nuages s'avançaient, je ne crus pas devoir prolonger davantage l'observation; elle avait duré une demi-heure environ.

Rappelons, à ce sujet, deux explications que l'on peut trouver dans des Traités de Météorologie, et qui paraissent difficiles à admettre :

1° On suppose que, si le nuage s'élève très haut, les gouttelettes d'eau ne pourront plus rester en surfusion, et qu'en passant à l'état de glace elles produiront les filaments du faux cirrus.

Il y aurait ainsi simplement congélation du sommet même du cumulus, et l'on comprend mal qu'il en puisse résulter un nuage *extérieur*, ou même un changement dans la forme du cumulus, cette forme étant la conséquence du mouvement ascensionnel normal.

L'observation que je rapporte plus haut montre d'ailleurs qu'une élévation de la température du nuage, provoquée par les rayons solaires, est au contraire très favorable à la formation du cirrus.

2° On admet encore que des gouttelettes, déjà froides, pourraient, à la faveur d'un courant ascendant, pénétrer dans une couche d'air sec où elles subiraient une évaporation assez rapide pour amener leur congélation.

Or ces gouttelettes font partie intégrante, au même titre que les molécules d'air, du mélange constituant le cumulus. Pas plus que ces dernières, moins même parce que moins mobiles, les gouttelettes d'eau ne peuvent se séparer de l'air saturé qui les soutient et aller se vaporiser à une notable distance au dehors. Toute ascension du mélange dont elles sont solidaires donnera seulement lieu à la formation normale d'une protubérance; il n'y aurait exception que pour de très improbables courants ascendants presque filiformes.

Il en est tout autrement de la vapeur inévitablement dégagée par la surface du cumulus, et qui, s'élevant en vertu de sa faible densité, peut aller se condenser dans l'air froid.

Je saisis cette occasion pour ajouter quelques mots à ce que j'ai écrit, dans la Note précitée, au sujet des Stratus, et dont l'insuffisante clarté peut laisser supposer que j'ai considéré *tous* les stratus comme dérivant des cumulus par étalement consécutif à la cessation des mouvements ascensionnels.

J'ai simplement voulu n'envisager que la très nombreuse catégorie pour laquelle on peut suivre toutes les phases de la transformation d'un nuage en un nuage de forme différente, si bien que l'interprétation des faits, réduite pour ainsi dire à leur description, devient à peu près évidente. Quelques hypothèses seraient, au contraire, nécessaires pour expliquer les condensations que l'on voit donner naissance à des stratus souvent très étendus, ne paraissant différer des cumulus que par la forme, et présentant même parfois de légères protubérances ou de petites volutes marginales.

ZOOLOGIE. — *Sur les caractères sexuels secondaires des Limules.* Note de M. Ch. Gravier.

La révision de la collection des Limules du Muséum national d'histoire naturelle m'a permis de faire quelques observations concernant les caractères sexuels secondaires chez ces animaux déjà représentés au Silurien, réduits maintenant à quelques espèces localisées sur la côte atlantique de l'Amérique du Nord et en divers points de la région indopacifique.

I. Ainsi que R. I. Pocock (1902) l'a fait remarquer, chez le genre *Carcinoscorpius* Pocock, les deux sexes se ressemblent beaucoup. Les appendices céphalothoraciques sont de même forme chez le mâle et chez la femelle. Des six épines articulées dont sont armés, de chaque côté, les bords latéraux de la carapace postérieure, la seconde et la troisième sont les plus longues; les trois dernières décroissent de taille graduellement chez le mâle, brusquement chez la femelle. La différence est assez faible et n'est peut-être pas toujours facile à discerner.

Un caractère distinctif net apparaît chez le genre *Xiphosura* Gronovius (= *Limulus* O. F. Müller) : le second appendice céphalothoracique du mâle adulte est terminé, non par une pince didactyle, comme les autres appendices, mais par une griffe qui paraît servir d'instrument de contention à l'époque de la reproduction. Rien ne différencie l'un des sexes par rapport à l'autre dans l'armature d'épines articulées de la carapace postérieure.

Chez le genre *Tachypleus* Leach Pocock amend., les différences s'accentuent. Le second et le troisième appendice du mâle sont armés chacun d'une griffe qui n'existe qu'au second appendice dans le genre précédent. De plus, les bords latéraux de la carapace postérieure sont munis de six épines longues chez le mâle; de trois antérieures longues et de trois postérieures très courtes chez la femelle.

De plus, chez une espèce du genre, *Tachypleus tridentatus* (Leach), le bord antérieur de la carapace du mâle adulte s'échancre assez profondément sur une grande longueur. Ce trait est tellement particulier qu'un fragment de la carapace comprenant l'un des bords extrêmes de l'échancrure suffirait à caractériser un mâle de *Tachypleus tridentatus* (Leach).

Comme on le voit, le dimorphisme sexuel, chez les Limules, est très inégalement marqué suivant les espèces considérées et va en croissant du *Carcinoscorpius rotundicauda* (Latr.) au *Tachypleus tridentatus* (Leach).

II. Ainsi, chez le *Tachypleus tridentatus* (Leach), le mâle, à maturité sexuelle, se distingue de la femelle par les trois caractères suivants :

1° Par l'armature des bords latéraux de la carapace postérieure;

2° Par la forme des extrémités distales de la seconde et de la troisième paire d'appendices céphalothoraciques;

3° Par l'échancrure du bord antérieur de la carapace.

Ces caractères n'apparaissent pas en même temps. Ceux qui se montrent les premiers affectent les bords latéraux de la carapace postérieure et les appendices céphalothoraciques de la seconde et de la troisième paire. Il m'est impossible, avec les documents dont j'ai pu disposer — tant au Muséum national d'histoire naturelle de Paris qu'au British Museum for natural History de Londres, où la collection des Limules fut obligeamment mise à ma disposition — de dire ceux qui se manifestent les premiers. Tout ce que je puis affirmer, c'est que chez les exemplaires jeunes (dont la carapace a une dizaine de centimètres de largeur) que j'ai pu étudier, les appendices céphalothoraciques des cinq premières paires sont munis chacun d'une pince didactyle et les six épines articulées de chacun des bords latéraux de la carapace postérieure sont égales ou subégales. Je n'ai

pu examiner aucun exemplaire ayant une carapace antérieure de largeur comprise entre 10 et 16cm. C'est dans ces tailles intermédiaires qu'apparaissent vraisemblablement les deux premiers caractères indiqués ci-dessus.

Mais ce qui est hors de doute, c'est que ces deux caractères sont déjà bien accusés, avant qu'il n'y ait encore aucune incisure au bord antérieur de la carapace du mâle. Ainsi deux exemplaires provenant de la région de Batavia, larges, l'un de 16, l'autre de 17cm, par conséquent, de taille assez voisine de celle de l'âge adulte, sont pourvus de leurs griffes caractéristiques à la seconde et à la troisième paire d'appendices céphalothoraciques et sont armés de leurs six longues épines de chaque côté de la carapace postérieure. Le bord de la carapace antérieure est demeuré entier jusque-là. Cependant, il semble bien que cette dernière transformation était imminente et devait se réaliser à l'une des plus prochaines mues. La zone amincie, de chaque côté de laquelle allait se produire l'échancrure, est nettement délimitée. Le fait constaté chez les deux mâles en question est important à noter au point de vue de l'évolution des caractères sexuels secondaires chez le mâle du *Tachypleus tridentatus* (Leach). Le caractère sexuel le plus apparent du mâle chez cette espèce ne se manifeste donc que tardivement, peut-être seulement à l'époque de la maturité complète des éléments mâles.

Il serait intéressant de suivre, au point de vue cytologique, le développement des éléments reproducteurs, au cours de ces transformations morphologiques chez le mâle.

III. Un exemplaire femelle recueilli en 1923, sur la côte de la Chine méridionale, non loin de Ning-Po, mesure 18cm de largeur dans sa carapace antérieure; un peu moins de 16cm de longueur. De par ses dimensions, l'animal peut être considéré comme parvenu à un âge assez voisin de celui de l'état adulte. Tous les appendices céphalothoraciques sont munis chacun d'une pince didactyle, mais les bords latéraux de la carapace postérieure sont armés de chaque côté de six épines longues et grêles, ce qui est l'apanage des mâles.

Or, chez les individus jeunes des deux sexes, ces six épines sont longues et également développées; cet état se maintient toute la vie chez le mâle, tandis que, chez la femelle, au cours des mues successives, les trois antérieures conservent leur caractère initial; les trois postérieures deviennent courtes, larges et terminées en pointe.

En ce qui concerne l'exemplaire femelle de la région Ning-Po qui a

conservé les six longues épines égales ou subégales sur les bords latéraux de la carapace postérieure, deux hypothèses se présentent : Y a-t-il, chez lui, persistance jusqu'à un stade très avancé du développement d'un caractère juvénile; ou bien, y a-t-il réellement coexistence, sur le même individu, de caractères les uns mâles, les autres femelles et, par conséquent, *gynandromorphisme?* Ce serait, à ma connaissance, le premier cas de gynandromorphisme signalé chez les Limules. Cette dernière hypothèse serait d'autant moins invraisemblable, que c'est chez les animaux qui présentent le dimorphisme sexuel le plus accusé, comme chez certains Insectes, que l'on observe le plus fréquemment de gynandromorphes.

ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE. — *Variations du champ électrique terrestre à la Station du Sommet du puy de Dôme.* Note [1] de MM. **E. Mathias** et **Ch. Jacquet**.

Parmi les travaux en cours effectués à la Station du Sommet du puy de Dôme figure l'enregistrement du potentiel atmosphérique. Les pavillons affectés à l'étude de l'électricité atmosphérique ont été édifiés au cours des années 1926 et 1927, grâce aux subsides accordés par l'Académie des Sciences sur les fonds de la Journée Pasteur, sur un plateau situé au sud-ouest de la Tour et de la maison d'habitation, en un lieu éloigné de tout relief du sol, de sorte que les surfaces de niveau peuvent être considérées comme horizontales. L'altitude de ce lieu est 1440^{m}.

Un collecteur au radium de 5^{cm} de diamètre est fixé au milieu d'un fil d'acier de 20^{m} de longueur, tendu parallèlement à $1^{m},91$ du sol entre deux systèmes isolants portés par des poteaux installés à l'intérieur de deux pavillons. Les plus grandes précautions ont été prises pour l'isolement en raison de la fréquence de la tourmente dans cette station.

Deux enregistreurs Benndorf sont réglés à des sensibilités différentes. Celles-ci correspondent à 8^{mm} et à 4^{mm} pour un champ de 100 volts par mètre. La mise à l'heure est faite tous les jours en même temps que la vérification du zéro; l'étalonnage est exécuté une fois par semaine à l'aide d'une batterie de piles Hellesens Enke et V. Ludwigsen.

Les résultats ci-après concernent la période d'été de 1928, pendant laquelle des mesures ont été faites sans interruption. Il est fait abstraction dans le calcul des champs négatifs, peu fréquents d'ailleurs.

---

(1) Séance du 24 juin 1929.

Les valeurs moyennes obtenues sont, en volts par mètre :

Juin.	Juillet.	Août.	Septembre.	Octobre.
150,6	161,4	155,9	164,7	143,4

Variation diurne. — Les valeurs moyennes obtenues pour les différentes heures de la journée sont, en volts par mètre :

1h.	2h.	3h.	4h.	5h.	6h.	7h.	8h.
133,1	138,8	131,8	133,0	136,4	129,0	151,2	151,0
9h.	10h.	11h.	12h.	13h.	14h.	15h.	16h.
167,6	167,0	167,6	172,7	169,7	172,9	167,5	183,8
17h.	18h.	19h.	20h.	21h.	22h.	23h.	24h.
174,6	152,9	169,5	168,0	152,8	144,1	147,9	140,0

Le champ est plus faible la nuit que le jour. Le minimum de nuit est environ 130 volts. Le maximum atteint 183,8 volts à 16h.

D'autre part, la variation diurne des journées *où il y a absence totale de brouillard* est donnée par le tableau suivant :

1h.	2h.	3h.	4h.	5h.	6h.	7h.	8h.
115,6	109,5	119,6	109,7	121,2	127,6	145,2	146,6
9h.	10h.	11h.	12h.	13h.	14h.	15h.	16h.
171,2	175,6	169,6	151,8	164,9	171,8	166,0	173,9
17h.	18h.	19h.	20h.	21h.	22h.	23h.	24h.
158,3	120,1	143,8	135,6	126,8	115,3	114,8	108,0

Le minimum de nuit (à 2h et 4h) est voisin de 110 volts. Un maximum de jour voisin de 10h (175,6 volts) est suivi d'un second maximum (173,9 volts) à 16h. Un minimum secondaire (151,8 volts) se produit à 12h.

Des observations régulières se poursuivent, depuis deux ans, à la Station de la Plaine, et les comparaisons établies avec celles de la Station de la Montagne permettent l'espoir d'obtenir, dans un avenir prochain, des résultats intéressants.

M. Charles Richet fait hommage aux Archives de l'Académie des Sciences, de la part de la marquise G. Lannes de Montebello, des lettres de *André-Marie Ampère*.

Quelques-unes de ces lettres ont été publiées, mais d'autres, assez nombreuses, sont inédites.

Ce sont d'ailleurs, en général, des lettres intimes plutôt que des documents scientifiques. Mais tout ce qui touche la vie d'A.-M. Ampère est intéressant.

En outre Mme de Montebello fait don des lettres et manuscrits de J.-J. Ampère, fils d'A.-M. Ampère, à la Bibliothèque de l'Institut.

Exception est faite cependant pour des lettres assez remarquables d'Adrien de Jussieu à J.-J. Ampère, lettres qui sont données par Mme de Montebello aux Archives de l'Académie des Sciences.

Je me suis permis de remercier, au nom de l'Académie, Mme de Montebello de ces précieuses donations.

ÉLECTIONS.

Par la majorité absolue des suffrages, MM. **H. Deslandres** et **H. Le Chatelier** sont désignés pour faire partie du *Conseil de perfectionnement de l'École Polytechnique*.

CORRESPONDANCE.

La **Société Astronomique de Pologne**, l'**Observatoire de Poznan** adressent des télégrammes de condoléance à l'occasion du décès de M. *H. Andoyer*.

GÉOMÉTRIE. — *Sur les continus d'ordre borné.* Note de M. **A. Marchaud**, présentée par M. Hadamard.

Dans ses remarquables travaux sur la géométrie finie, M. C. Juel considère en particulier des courbes planes ayant un nombre borné de points sur une droite quelconque du plan. L'ordre d'une courbe est le maximum du nombre de ces points. Bien des propriétés des courbes algébriques de degré k appartiennent aux courbes d'ordre k, surtout pour les petites valeurs de l'ordre. On peut se demander ce qui resterait de ces propriétés si l'on raisonnait sur des courbes moins particulières que celles de M. C. Juel (elles sont fermées au sens projectif, et constituées par un nombre fini

d'arcs ayant une tangente partout), ou même tout simplement sur des continus, la seule hypothèse conservée étant celle relative à l'ordre.

I. Appelons *continu d'ordre borné* tout continu, situé dans un espace euclidien à n dimensions, rencontré en un nombre borné de points par toute multiplicité linéaire à $n-1$ dimensions; le maximum du nombre de ces points sera l'*ordre* du continu. On obtient le théorème général suivant :

1. *Tout continu d'ordre borné peut être décomposé en une infinité dénombrable d'arcs simples, deux quelconques d'entre eux ayant un nombre borné de points communs; de plus, deux points donnés du continu peuvent être joints, sur lui, par un arc simple. Tous ces arcs sont rectifiables et admettent en chaque point deux demi-tangentes opposées, sauf peut-être en une infinité dénombrable de points.*

Dans certains cas les résultats sont plus précis grâce à la notion de *point de ramification*. On appelle ainsi tout point O du continu, tel qu'on puisse trouver, sur ce dernier, plus de deux arcs simples n'ayant en commun deux à deux que le point O.

2. *Si un continu d'ordre borné a un nombre fini de points de ramification, il est la somme d'un nombre fini d'arcs simples, n'ayant en commun que des extrémités* [1].

Le nombre des points de ramification est nécessairement nul, ou fini, si l'ordre du continu égale, ou dépasse, de peu le nombre des dimensions. C'est ce qui a lieu pour les continus plans d'ordre 2 ou 3, et les continus gauches d'ordre 3 ou 4, dont voici les principales propriétés.

II. 3. *Un continu plan d'ordre 2 est une courbe de Jordan convexe, ouverte ou fermée.*

4. *Un continu plan d'ordre 3 est, ou bien un arc de Jordan ouvert, ayant au plus un point double, ou bien la somme de deux arcs simples ayant un seul point commun.*

5. *Tout arc plan d'ordre 3 est formé de 2, 3 ou 4 arcs convexes placés bout à bout.*

Ces deux dernières propositions permettent d'effectuer une classification des continus d'ordre 3, suivant le nombre et la disposition des arcs convexes qui les composent. Le n° 5 généralise un théorème de M. C. Juel : une courbe plane générale du troisième ordre a toujours trois inflexions [2]. Il

---

[1] C'est un continu simple de S. Janiszewski (*Thèse*, Paris, 1911, p. 70).

[2] C. Juel, *Indledning i Læren om de grafiske Kurver* (*Mém. de l'Ac. Roy. d. Sc. et d. Let. d. Danemark : Sect. d. Sc.*, 6e série, 10, I, 1899, p. 81).

en résulte que *si une courbe d'ordre* 3 *admet une tangente partout, celle-ci varie d'une manière continue*, puisque cette propriété appartient aux arcs convexes. Elle ne s'étend pas aux courbes planes d'ordre supérieur à 3.

III. 6. *Tout continu gauche d'ordre 3 est un arc simple ouvert; si les deux demi-tangentes en chacun de ses points ont même support, chacune d'elles varie d'une manière continue; l'arc possède alors en tout point un plan osculateur pour chaque côté, et l'ensemble des points pour lesquels ils sont distincts est au plus dénombrable: si, enfin, ce dernier ensemble ne contient aucun point, le plan osculateur unique varie continûment.* Le plan osculateur pour un côté est la limite commune du plan tangent passant par un point voisin ou parallèle à la tangente en un point voisin, ce point étant pris du côté considéré.

7. *Un continu gauche d'ordre 4 est, ou bien une courbe de Jordan ayant au plus un point double, ou bien la somme de deux arcs simples ayant un seul point commun.*

Un arc simple du quatrième ordre a au plus un rebroussement. Les arcs sans rebroussement possèdent les mêmes propriétés différentielles que ceux d'ordre 3, sauf peut-être en ce qui concerne la variation continue du plan osculateur. Je ne sais pas si le plan osculateur à une courbe gauche d'ordre 4 peut être partout unique sans varier d'une manière continue.

IV. Les résultats précédents sont susceptibles de nombreuses extensions. Dans le plan, par exemple, on peut remplacer les droites par certaines familles de courbes. Voici un énoncé obtenu en prenant des cercles :

Si un continu plan a 3 points au plus sur un cercle quelconque, c'est un arc simple ouvert, ayant en chaque point deux demi-tangentes opposées — qui varient d'une manière continue — et un centre de courbure pour chaque côté: l'ensemble des points pour lesquels ces centres de courbure sont distincts est au plus dénombrable: s'ils sont confondus partout, le centre de courbure unique varie continûment. Le centre de courbure pour un côté en un point M est la limite commune du centre du cercle tangent en M passant par M′ et de l'intersection des normales en M et M′ quand M′ tend vers M du côté considéré.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur le problème fondamental du calcul intégral absolu.* Note [1] de M. Z. **Horák**.

Considérons une variété à n paramètres indépendants

$$x^\nu \quad (\lambda, \mu, \nu, \omega = 1, 2, \ldots, n)$$

dans laquelle on a défini une connexion linéaire, de sorte que les différentielles absolues (covariantes) des vecteurs v^ν, w_λ s'écrivent [2]

$$Dv^\nu = dv^\nu + \Gamma^\nu_{\lambda\mu} v^\lambda \, dx^\mu, \qquad Dw_\lambda = dw_\lambda - \Gamma^\nu_{\lambda\mu} w_\nu \, dx^\mu.$$

Étant donnée une ligne (K) sur laquelle les x^ν sont des fonctions continues d'une variable t ainsi que leurs dérivées du premier ordre, on peut se poser le problème de *déterminer un vecteur* V^ν, *en fonction de* t, *dont la différentielle absolue, correspondant à l'accroissement dt de la variable t, est égale au vecteur infiniment petit donné* $v^\nu \, dt$ *en chaque point de la ligne* (K). Notre problème se traduit par le système de n équations différentielles

$$\frac{dV^\nu}{dt} + \Gamma^\nu_{\lambda\mu} V^\lambda \frac{dx^\mu}{dt} = v^\nu,$$

dont l'intégrale générale, renfermant n constantes C^i $(i, j = 1, 2, \ldots, n)$, est de la forme

$$(1) \qquad V^\nu = K^\nu_i \left(\int K^i_\lambda v^\lambda \, dt + C^i \right),$$

où les $K^\nu_1, \ldots, K^\nu_n$ représentent n systèmes particuliers d'intégrales des équations sans seconds membres

$$(2) \qquad dK^\nu_i + \Gamma^\nu_{\lambda\mu} K^\lambda_i \, dx^\mu = 0,$$

le déterminant $|K^\nu_i|$ étant différent de zéro. Les quantités K^i_λ sont définies par les relations

$$(3) \qquad K^\nu_i K^j_\nu = \begin{cases} 1 & \text{si } i = j, \\ 0 & \text{si } i \neq j, \end{cases} \qquad K^\nu_i K^i_\lambda = \begin{cases} 1 & \text{si } \nu = \lambda, \\ 0 & \text{si } \nu \neq \lambda, \end{cases}$$

et satisfont donc au système adjoint au (2)

$$dK^i_\lambda - \Gamma^\nu_{\lambda\mu} K^i_\nu \, dx^\mu = 0,$$

---

(1) Séance du 24 juin 1929.

(2) Je supprime les signes de sommation.

d'où l'on tire pour le vecteur (1) l'expression

$$(4) \qquad V^\nu = \int v^\nu dt - K_i^\nu \left[\int K_\lambda^i \Gamma_{\omega\mu}^\lambda \left(\int v^\omega dt \right) dx^\mu + C^i \right].$$

L'opération invariante qui conduit du vecteur v^ν au vecteur V^ν présente une étroite analogie avec l'intégration ordinaire, et d'autre part l'expression (4) rappelle la différentielle absolue. Cela suggère d'introduire un symbole d'*intégration absolue le long d'une courbe* par l'équation

$$\rceil\!\!\lfloor v^\nu dt = K_i^\nu \int K_\lambda^i v^\lambda dt$$

et d'écrire la formule (1) sous la forme

$$V^\nu = \rceil\!\!\lfloor v^\nu dt + K^\nu,$$

en désignant par

$$K^\nu = C^i K_i^\nu$$

l'intégrale générale du système homogène. C'est un *vecteur constant* le long de la ligne (K) qui joue le rôle d'une constante arbitraire. Si l'on se donne les composantes $K^\nu(t_0)$ du vecteur K^ν en un point t_0 de la courbe (K), ses composantes en un point t quelconque de (K) sont

$$K^\nu(t) = K_i^\nu(t) K_\lambda^i(t_0) K^\lambda(t_0) \quad [1].$$

De même le vecteur V^ν est complètement défini, si l'on connaît les valeurs de ses composantes en un point donné. Si nous exigeons, par exemple, que pour $t = t_0$ ce vecteur soit nul, il vient d'après (1)

$$C^i = -\left[\int K_\lambda^i v^\lambda dt \right]_{t=t_0},$$

et nous pouvons donc définir comme *intégrale absolue du vecteur v^ν prise le long de* (K) *entre les limites t_0 et t* le vecteur

$$(5) \qquad \rceil\!\!\lfloor_{t_0}^{t} v^\nu dt = K_i^\nu(t) \int_{t_0}^{t} K_\lambda^i v^\lambda dt.$$

Pour un vecteur covariant, on obtient une formule analogue que je n'écris pas.

Les quantités K_i et K_λ^j, constituant respectivement n vecteurs constants

[1] Cette équation définit le transport par équipollence le long de (K).

contravariants et covariants liés entre eux par les relations (3), définissent en chaque point de (K) un repère de telle manière que tous ces repères se confondent, si on les transporte par équipollence en un même point. Les composantes d'un vecteur constant K^ν sont dans tous ces repères les mêmes, égales aux C^i, et la formule (5) s'interprète comme suit : l'intégrale absolue d'un vecteur s'obtient en prenant les intégrales ordinaires de ses composantes relatives à un système de vecteurs constants et en revenant après l'intégration aux composantes primitives. On arrive à ce résultat d'une manière plus générale par la méthode de M. Cartan laquelle consiste à développer la courbe (K) sur l'espace linéaire tangent (¹).

La connexion le long de (K) est complètement déterminée par les n vecteurs K^ν_i et l'on vérifie aisément la relation

$$Dv^\nu = K^\nu_i \, d(K^i_\lambda v^\lambda).$$

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur les directions de Borel des fonctions méromorphes.* Note de M. **Miécislas Biernacki**, présentée par M. Hadamard.

M. Borel a généralisé autrefois (²) le théorème de M. Picard de la manière suivante : « $f(z)$ étant une fonction méromorphe d'ordre ρ et $g(z)$ une fonction méromorphe d'ordre inférieur, l'exposant de convergence des racines des équations $f(z) - g(z) = 0$ est égal à ρ sauf pour deux fonctions $g(z)$ au plus. » M. Valiron a trouvé dans un Mémoire récent (³) un complément de cet énoncé analogue au complément du théorème primitif de M. Picard obtenu par M. Julia (⁴), toutefois, les fonctions $g(z)$ sont remplacées par des fractions rationnelles $R(z)$. On peut déduire des résultats de M. Valiron une proposition entièrement analogue à celle de M. Borel.

Théorème. — *$f(z)$ étant une fonction méromorphe d'ordre ρ, $g(z)$ une fonction méromorphe d'ordre inférieur et $\varepsilon > 0$ un nombre arbitrairement petit, il existe une suite des cercles $C_n(f)$ de centres z_n et de rayons*

$$\varepsilon(n) r_n \left[r_n = |z_n|, \qquad \lim_{n \to \infty} \varepsilon(n) = 0 \right],$$

(¹) Voir, par exemple, E. Cartan, *Leçons sur la géométrie des espaces de Riemann*, Paris 1928, Chap. IV, § 92.

(²) *Leçons sur les fonctions méromorphes*, Paris, Gauthier-Villars, 1903, p. 66.

(³) *Acta mathematica*, 52, 1929, p. 82, théorèmes IX et X.

(⁴) *Annales Éc. Norm.*, 3e série, 36, 1919, p. 107.

telle que toute équation $f(z) - g(z) = 0$ possède plus de $r_n^{\rho-\varepsilon}$ racines dans le cercle C_n dès que $n > n(\varepsilon, g)$, sauf pour deux fonctions $g(z)$ au plus. [*Si $\rho = \infty$ le nombre de zéros sera $r_n^{m_n}$ où $\lim\limits_{n \to \infty} m_n = \infty$, la suite $\{m_n\}$ pouvant dépendre du choix de $g(z)$.*] *Il existe donc une « direction de Borel »* ([1]) $\arg z = \varphi$ *telle que l'exposant de convergence des racines des équations $f(z) - g(z) = 0$ contenues dans l'angle $|\arg z - \varphi| < \varepsilon$ est égal à ρ, quel que soit ε, sauf pour deux fonctions $g(z)$ au plus* ([2]).

Supposons que ρ soit fini. D'après les théorèmes cités de M. Valiron, il existe une suite infinie de cercles $C_n(f)$ de centres $z_n \left(\lim\limits_{n \to \infty} z_n = \infty\right)$ et de rayons $k_n \left(\lim\limits_{n \to \infty} \frac{k_n}{r_n} = 0, k_n > 1\right)$ telle que $f(z)$ y prend une des valeurs 0, 1, ∞, la valeur ∞ par exemple, plus de $r_n^{\rho-\varepsilon}$ fois dès que $n > n_\varepsilon$. Supposons que les équations $f(z) - g_i(z) = 0$ $(i = 1, 2, 3)$ aient moins de r_n^τ racines dans les cercles C'_n concentriques aux C_n et de rayons $40 k_n$ et que

$$\tau < \eta < \sigma < \lambda < \rho;$$

posons

$$h(z) = \frac{g_2(z) - g_3(z)}{g_2(z) - g_1(z)} \qquad \text{et} \qquad \varphi(z) = h(z) \frac{f(z) - g_1(z)}{f(z) - g_3(z)}.$$

Entourons les points a_m qui sont les zéros et les pôles des g_i, $g_i - g_k$ et les zéros des $f - g_i$ $(i, k = 1, 2, 3)$, avec des cercles A_m de centres a_m et de rayons $|a_m|^{-\mu}$ et considérons les circonférences H_n :

$$|z - z_n| = b_n \qquad (k_n < b_n < 2k_n),$$

ne rencontrant pas les A_m. Il résulte du théorème sur le minimum du module des fonctions entières et des théorèmes cités de M. Valiron qu'il existe sur H_n un point β_n où $\log|\varphi(z) - h(z)| > -|z|^\sigma$. Considérons les circonférences Γ_n : $|z - \beta_n| = d_n$ $(4k_n < d_n < 5k_n)$ qui ne rencontrent pas les A_m. On établit, en utilisant le théorème du minimum du module et des inégalités connues relatives à la fonction T de M. Nevanlinna ([3]), qu'il existe

---

([1]) G. Valiron, *loc. cit.*, p. 69.

([2]) M. Williams a considéré comme probable un théorème analogue relatif aux directions de Julia des fonctions entières, il l'a établi en supposant que les $g(z)$ appartiennent à une classe particulière des fonctions entières d'ordre nul (*Rend. del Circ. Mat. di Palermo*, 52, 1928, p. 373-415). Les résultats de M. Williams sont plus précis que les nôtres en ce qui concerne les rayons des cercles C_n.

([3]) Voir par exemple A. Bloch, *Mémorial des Sciences mathématiques*, fasc. 20, p. 13 et 28-30.

sur Γ_n un point γ_n où

$$\log|\varphi(z)| < r_n^{\lambda}, \quad |\varphi(z) - h(z)| > 1, \quad \log|\varphi'(z)| > -r_n^{\sigma}.$$

En appliquant une proposition de M. Valiron (¹) aux fonctions $f(\gamma_n + z$ et aux cercles $|z - \gamma_n| \leq e_n$ ($20 k_n < e_n < 30 k_n$) dont les périphéries ne rencontrent pas les A_m, on arrive à une contradiction. Si $\rho = \infty$, la démonstration est entièrement analogue.

MÉCANIQUE RATIONNELLE. — *Solides par rapport auxquels un système matériel n'est soumis qu'à des forces intérieures.* Note de M. **Charles Platrier**, transmise par M. L. Lecornu.

M. Le Roux (²) a signalé l'intérêt qui s'attache aux solides par rapport auxquels un système matériel n'est soumis qu'à des forces intérieures.

Nous nous proposons de montrer que *tout trièdre* T *lié à un de ces solides n'est autre qu'un trièdre par rapport auquel l'énergie d'accélération du système matériel est constamment minimum.*

Repérons en effet le système d'éléments matériels de masse m et de coordonnées x, y, z par rapport à un trièdre quelconque Ox, Oy, Oz et soit T un des trièdres par rapport auquel l'énergie d'accélération S du système matériel donné est constamment minimum.

Désignons par ξ, η, ζ les projections sur les axes Ox, Oy, Oz de la vitesse du point O par rapport à T et par p, q, r les projections sur les mêmes axes de la rotation du trièdre Ox, Oy, Oz par rapport à T également.

Les coordonnées $V_x V_y V_z$ et $\Gamma_x \Gamma_y \Gamma_z$ respectives de la vitesse $\overline{V}$ et de l'accélération $\overline{\Gamma}$ de l'élément matériel x, y, z, par rapport au trièdre T, ont pour valeur

$$V_x = \frac{dx}{dt} + \xi + qz - ry, \qquad \Gamma_x = \frac{dV_x}{dt} + qV_z - rV_y,$$

$$V_y = \frac{dy}{dt} + \eta + rx - pz, \qquad \Gamma_y = \frac{dV_y}{dt} + rV_x - pV_z,$$

$$V_z = \frac{dz}{dt} + \zeta + py - qx, \qquad \Gamma_z = \frac{dV_z}{dt} + pV_y - qV_x.$$

(¹) *Loc. cit.*, p. 71, théorème VI.

(²) *Comptes rendus*, 188, 1929, p. 228 et 1376.

d'où

$$T_x = \frac{d\xi}{dt} + \frac{dq}{dt}z - \frac{dr}{dt}y + \text{fonction indépendante de } \frac{d\xi}{dt}, \frac{d\eta}{dt}, \frac{d\zeta}{dt}, \frac{dp}{dt}, \frac{dq}{dt}, \frac{dr}{dt},$$

$$T_y = \frac{d\eta}{dt} + \frac{dr}{dt}x - \frac{dp}{dt}z + \ldots\ldots,$$

$$T_z = \frac{d\zeta}{dt} + \frac{dp}{dt}y - \frac{dq}{dt}x + \ldots\ldots,$$

et

$$2S = \Sigma m (T_x^2 + T_y^2 + T_z^2).$$

Dès lors les conditions nécessaires et suffisantes pour que S soit, à chaque instant minimum, savoir

$$\frac{\partial S}{\partial \frac{\partial \xi}{\partial t}} = \frac{\partial S}{\partial \frac{\partial \eta}{\partial t}} = \frac{\partial S}{\partial \frac{\partial \zeta}{\partial t}} = \frac{\partial S}{\partial \frac{\partial p}{\partial t}} = \frac{\partial S}{\partial \frac{\partial q}{\partial t}} = \frac{\partial S}{\partial \frac{\partial r}{\partial t}} = 0.$$

s'écrivent

$$\Sigma m T_x = 0, \qquad \Sigma m T_y = 0, \qquad \Sigma m T_z = 0,$$

$$\Sigma m (y T_z - z T_y) = 0, \qquad \Sigma m (z T_x - x T_z) = 0, \qquad \Sigma m (x T_y - y T_x) = 0.$$

En vertu des équations universelles du mouvement, ce sont justement celles pour que le trièdre T soit lié à un solide par rapport auquel le système matériel en mouvement n'est soumis qu'à des forces intérieures, ce qui établit la proposition que nous avions en vue.

GÉODÉSIE. — *Niveaux moyens comparés de la mer Blanche, de la Baltique, de la mer Noire et de l'océan Pacifique.* Note de M. **Jules Schokalsky**, présentée par M. Ch. Lallemand.

Le Service géographique de l'Armée russe vient d'achever les nivellements de précision qui relient entre elles la mer Noire, la mer Baltique et la mer Blanche.

Comparé au niveau de la Baltique à Cronstadt — choisi comme zéro fondamental pour tous les nivellements russes, — le niveau moyen de la mer Blanche à Arkhangelsk a été trouvé plus élevé de $0^m,24$, tandis que, par contre, le niveau moyen de la mer Noire à Odessa se trouverait à $0^m,88$ au-dessous de ce même zéro.

Une différence de niveau de $1^m,12$ existerait ainsi entre la Baltique et la mer Noire.

D'autre part, le niveau moyen de l'océan Pacifique à Vladivostok serait

à $1^m,80$ au-dessous du zéro fondamental de Cronstadt, et, par suite, à $0^m,92$ au-dessous du niveau de la mer Noire, ou à $2^m,04$ au-dessous de la mer Blanche.

Mais ces derniers résultats ne sont que provisoires, la ligne de nivellement, la plus longue du monde, qui réunit les deux mers, n'étant nivelée que dans un seul sens sur un tronçon de 400^{km}.

Le nivellement de sens contraire sera exécuté en 1930.

RELATIVITÉ. — *Sur les équations de Dirac dans la théorie de relativité générale.* Note [1] de M. **V. Fock**, présentée par M. M. de Broglie [2].

1. Pour tenir compte du fait que la forme einsteinienne ds^2 est indéfinie, nous introduirons avec M. Eisenhart [3] les nombres $e_1 = e_2 = e_3 = -1$, $e_0 = +1$. Les matrices hermitiennes de Dirac seront désignées par $\alpha_1\,\alpha_2\,\alpha_3\,\alpha_5$ et la matrice-unité par α_0. Les indices parcourent partout les valeurs 0, 1, 2, 3.

En comparant la loi du déplacement d'un demi-vecteur

$$\delta\psi = \sum_l e_l C_l ds_l \psi \tag{1}$$

avec celle pour un vecteur $A_i = \overline{\psi}\alpha_i\psi$

$$\delta A_i = \sum_{kl} e_k e_l \gamma_{ikl} A_k ds_l. \tag{2}$$

et observant que la quantité $A_5 = \overline{\psi}\alpha_5\psi$ est un invariant, nous obtenons

$$C_l^\dagger \alpha_5 + \alpha_5 C_l = 0; \qquad C_l^\dagger \alpha_m + \alpha_m C_l = \sum_k e_k \alpha_k \gamma_{mkl}. \tag{3}$$

On vérifie que la solution générale de ces équations est

$$C_l = \frac{1}{4} \sum_{mk} \alpha_m \alpha_k e_k \gamma_{mkl} + \frac{2\pi i e}{hc} \varphi_l, \tag{4}$$

où φ_l est un vecteur réel que nous supposerons être le potentiel-vecteur.

(1) Séance du 24 juin 1929.

(2) Voir Fock et Iwanenko, *Géométrie quantique linéaire et déplacement parallèle* (*Comptes rendus*, 188, 1929, p. 1470).

(3) L. Eisenhart, *Riemannian Geometry* (Princeton, 1926).

2. Pour obtenir les équations de Dirac, posons

(5) $$\mathcal{F}\psi = \frac{h}{2\pi i}\sum_k e_k\alpha_k\left(\frac{\partial\psi}{\partial s_k} - C_k\psi\right) - mc\alpha_5\psi.$$

Si l'on introduit les coordonnées x^σ et les matrices

(6) $$\gamma^\sigma = \sum_k e_k\alpha_k h_k^\sigma; \quad \Gamma_\sigma = \sum_k e_k\alpha_k h_{\sigma k} C_k,$$

l'opérateur $\mathcal{F}$ peut s'écrire

(5*) $$\mathcal{F}\psi = \frac{h}{2\pi i}\gamma^\sigma\left(\frac{\partial\psi}{\partial x^\sigma} - \Gamma_\sigma\psi\right) - mc\alpha_5\psi.$$

En s'appuyant sur la définition des coefficients γ_{ikl} de Ricci on tire de (3)

(7) $$\Gamma_\alpha^+\gamma^\sigma + \gamma^\sigma\Gamma_\alpha = -\nabla_\alpha\gamma^\sigma,$$

où ∇_α est le symbole de différentiation covariante. Au moyen de cette relation on vérifie sans peine l'identité

(8) $$\bar\psi F\psi - \psi\overline{F\psi} = \frac{h}{2\pi i}\frac{1}{\sqrt{g}}\frac{\partial}{\partial x^s}(\bar\psi\sqrt{g}\gamma^\sigma\psi),$$

où g est la valeur absolue du déterminant du tenseur fondamental $g_{\rho\sigma}$.

L'identité (8) montre que l'opérateur F est identique à son adjoint. Cela nous permet d'affirmer que *l'équation de Dirac dans la théorie de relativité générale s'écrit*

(9) $$F\psi = 0.$$

La formule (8) montre alors que *la divergence du vecteur du courant est nulle*

(10) $$\nabla_\sigma S^\sigma = 0, \quad S^\sigma = \bar\psi\gamma^\sigma\psi.$$

3. En posant $D_\sigma = \frac{\partial}{\partial x^\sigma} - \Gamma_\sigma$, on trouve facilement

(11) $$h_k^\sigma h_l^\rho(D_\sigma D_\rho - D_\rho D_\sigma) = \frac{1}{4}\sum_{ij}\alpha_i\alpha_j e_j\gamma_{ijkl} + \frac{2\pi i e}{hc}M'_{kl},$$

où γ_{ijkl} sont les composantes n-èdriques du tenseur de Riemann et M'_{kl} celles du bivecteur du champ électromagnétique. De la formule (11) on déduit

(12) $$\gamma^\sigma(D_\sigma D_\alpha - D_\alpha D_\sigma) = -\frac{1}{2}\gamma^\rho R_{\rho\alpha} + \frac{2\pi i e}{hc}\gamma^\rho M_{\rho\alpha}.$$

où $R_{\rho\alpha}$ est le tenseur de Riemann contracté. Si l'on pose $A^{\sigma}_{.\alpha} = \bar{\psi}\gamma^{\sigma} D_{\alpha}\psi$, on vérifie que la divergence du tenseur $A^{\sigma}_{.\alpha}$ est égale à

$$(13) \qquad \nabla_{\sigma} A^{\sigma}_{.\alpha} = -\frac{1}{2} S^{\rho} R_{\rho\alpha} + \frac{2\pi i e}{hc} S^{\rho} M_{\rho\alpha}.$$

Or on a, puisque la divergence de S^{ρ} est nulle, $\nabla_{\sigma}\nabla_{\alpha} S^{\sigma} = - S^{\rho} R_{\rho\alpha}$. En rapprochant cette formule et (13) on trouve pour la divergence du tenseur

$$(14) \qquad T^{\sigma}_{.\alpha} = \frac{ch}{2\pi i}\left[\bar{\psi}\gamma^{\sigma}\left(\frac{\partial\psi}{\partial x_{\alpha}} - \Gamma_{\alpha}\psi\right) - \frac{1}{2}\nabla_{\alpha}(\bar{\psi}\gamma^{\sigma}\psi)\right]$$

l'expression

$$(15) \qquad \Delta_{\sigma} T^{\sigma}_{.\alpha} = e S^{\rho} M_{\rho\alpha}.$$

Au moyen de (9) on vérifie que le tenseur $T^{\sigma}_{.\alpha}$ est réel. *Nous pouvons donc considérer* $T^{\sigma}_{.\alpha}$ *comme le tenseur de l'énergie de matière. Les équations* (15) *sont alors les équations de mouvement* de la théorie de relativité générale. Le tenseur $T_{\sigma\alpha} = g_{\sigma\rho} T^{\rho}_{.\alpha}$ n'est pas symétrique par rapport à ses indices.

Au moyen du tenseur $T^{\sigma}_{.\alpha}$ on peut écrire le principe variationnel équivalent aux équations (9) de Dirac sous la forme

$$(16) \qquad \delta \int\int\int\int (T^{\sigma}_{.\alpha} - m\bar{\psi}\alpha_5\psi)\sqrt{-g}\, dx_0\, dx_1\, dx_2\, dx_3 = 0$$

qui exprime que *la variation de l'écart moyen de l'invariant du tenseur* T *de la densité invariante de la matière est égale à zéro*. Or cet écart lui-même s'annule en vertu des équations (9), ce qui est en accord parfait avec la théorie classique.

ÉLECTRONIQUE. — *Sur les potentiels critiques et les arcs à faible tension dans l'hydrogène*. Note de M. **Stefan Vencov**, présentée par M. A. Cotton.

De nombreuses recherches expérimentales ont été faites dans le but d'expliquer les spectres et les potentiels critiques de l'hydrogène. Une interprétation cohérente de l'ensemble des résultats publiés est difficile à donner, sans doute parce qu'on a négligé souvent d'utiliser simultanément l'analyse spectrographique et les mesures électriques. Aussi, dans les recherches que j'ai entreprises je me suis proposé d'obtenir successivement, en employant un dispositif expérimental simple et d'un emploi commode, les différents modes d'excitation et de décomposition de la molécule d'hydro-

gène, et d'analyser en même temps les spectres caractéristiques qui s'y rattachent.

J'ai choisi la méthode des chocs électroniques, réduite à sa plus simple expression, parce qu'elle m'a semblé la plus indiquée pour atteindre ce résultat.

J'ai construit un appareil contenant une source thermique d'électrons, les deux grilles et une plaque, dans lequel les conditions suivantes étaient rigoureusement respectées : vide élevé ($< 10^{-5}$ mm de Hg); constance et mesure des potentiels et des faibles pressions du gaz ($0^{mm},1$-$0^{mm},001$); variation de la distance entre les électrodes; surveillance de la température du filament (chute ohmique < 1 volt); emploi de faibles courants thermioniques ($< 5.10^{-4}$ amp.) et d'électrodes métalliques de faible surface; extrême pureté du gaz introduit. Une fenêtre de quartz permettait l'exploration spectrographique de tous les espaces compris entre la source des électrons et la plaque.

Les tensions étaient lues avec une précision de 0,1 à 0,2 volt jusqu'à 30 volts, et les courants d'ionisation avec un galvanomètre sensible ($0,52.10^{-9}$ amp-mm).

Les diverses combinaisons de champs électriques étaient fournies par des dispositifs potentiométriques.

Appelons V_1, V_2 et V_3 les potentiels des deux grilles et de la plaque, I_0 et I_V les intensités des courants enregistrés par le galvanomètre (en série avec la plaque) mis à la terre ou au potentiel V. J'ai surtout employé l'une ou l'autre des méthodes suivantes :

I. V_1 variable graduellement pour chaque série d'expériences, toujours positif; V_2 variable entre $-0,5$ et -1 volt, constant pour une série d'expériences; V_3 environ $+40$ volts.

Les discontinuités de la courbe $I = f(V_1)$ donnent les points critiques.

II. $V_1 = V_2 = 0$; potentiel négatif variable au filament; $V_3 = 0$, ou $-0,2$ volt. Pour chaque valeur de la tension appliquée au filament, on mesure les courants I_0 et $I_{-0,2}$ et de nouveau I_0. Les courbes

$$(I_0 - I_{-0,2}) : I_0 = f(V)$$

donnent $V_{crit.} = V_{max.} - 0,2$.

Les corrections faites pour les champs parasites dus à des charges spatiales et à la distribution des vitesses électroniques [1] ne dépassent pas un demi-volt.

Par ces méthodes j'ai obtenu les potentiels critiques suivants :

---

[1] B. Davies et Goucher, *Phys Rev.*, 10, 1917, p. 101; et G. Déjardin, *Annales de Physique*, 2, 1924, p. 241.

$11,5 \pm 0,5$ volts (résonance de la molécule);

$13,6 \pm 0,2$ volts (ionisation atomique, H atomique fourni par le filament incandescent, résultant de la dissociation thermique de H^2);

$16,5 \pm 0,5$ volts (dissociation de la molécule, avec accroissement notable d'ionisation);

$29,7 \pm 0,6$ volts (dissociation suivie de l'ionisation double).

J'ai laissé de côté les autres potentiels critiques que j'obtiens accidentellement dans des conditions difficiles à préciser : au contraire, j'obtiens très régulièrement à la température ordinaire les quatre points critiques précédents. Celui de 11,5 volts concorde bien avec les déterminations théoriques de E. E. Witmer (¹) et avec le point déduit de l'analyse du spectre des bandes ultraviolettes (²). Celui de 13,6 volts est toujours plus net pour les faibles pressions et les cathodes fortement chauffées, ce qui explique son origine.

Je déduis des résultats précédents que le travail de la dissociation de la molécule d'hydrogène correspond à environ 3 volts : valeur qui concorde bien avec les déterminations électrochimiques. Les résultats spectrographiques seront indiqués plus tard, mais je peux décrire dès maintenant l'aspect de l'arc obtenu à faible tension. La lumière blanc bleuâtre de l'arc obtenu à 16,5 volts environ est très stable et le courant thermionique toujours faible; entre 30 et 35 volts, la lumière devient très intense. Les courants de plaque deviennent très sensibles aux moindres variations du potentiel accélérateur et de la température du filament. Vers 60 volts la décharge commence à avoir une oscillation d'intensité. La fréquence de ces oscillations semble être influencée par l'accroissement du potentiel accélérateur. Si ce potentiel dépasse 100 volts et va jusque vers 300 volts, l'arc, toujours oscillant, devient très brillant, formant comme une série d'étincelles condensées se succédant à quelques secondes d'intervalle. Les courants de plaque (2-3 milliampères) suivent les oscillations de l'arc. Les limites indiquées ci-dessus sont faiblement influencées par la pression du gaz. La production de cet arc, obtenu avec d'autres méthodes par Duffendack (³) et G. Stead et B. Trevelyan (⁴), a été attribuée par ces derniers à l'action catalytique des impuretés.

Dans les spectres que j'ai étudiés, aucune trace d'impureté n'a été trouvée.

(¹) E. E. Witmer, *Phys. Rev.*, 28, 1926, p. 1223.

(²) G. H. Diecke et J. Hopfield, *Zeits. f. Physik*, 40, 1926, p. 299.

(³) O. S. Duffendack, *Phys. Rev.*, 20, 1922, p. 665.

(⁴) G. Stead et B. Trevelyan, *Phil. Mag.*, 48, 1924, p. 978.

L'explication semble devoir être plutôt cherchée dans une action combinée du phénomène d'absorption cumulatif des radiations, et des chocs successifs nécessaires à l'ionisation.

Un fait remarquable est qu'à la température ordinaire l'arc s'allume et s'éteint toujours aux environs de 16 volts, potentiel d'ionisation de la molécule; on observe toujours cela pour les gaz diatomiques.

PYROMÉTRIE. — *Mesure des longueurs d'ondes effectives des écrans utilisés en pyrométrie*. Note [1] de M. **Mendousse**, transmise par M. Pierre Weiss.

La longueur d'onde effective $\lambda_{T_1T_2}$ d'un écran dans l'extrapolation de la température T_1 à la température T_2 est la longueur d'onde pour laquelle le rapport Z des brillances spectrales de deux corps noirs aux températures T_1 et T_2 est égal au rapport z des flux totaux qu'ils envoient à travers l'écran considéré. Toutes les déterminations expérimentales de $\lambda_{T_1T_2}$ ont donc pour principe de mesurer Z en fonction de λ dans le voisinage de λ_e, puis de mesurer z, et de comparer les résultats obtenus. Appliqué à la lettre, ce principe donne cependant une méthode assez compliquée [2], d'où les artifices imaginés pour réduire le nombre des mesures, ainsi que la précision et la fidélité à exiger des appareils : de Groot égalise les brillances de deux sources aux températures de couleur T_1 et T_2 en les regardant à travers l'écran étudié, puis projette leurs deux images sur la fente d'un spectroscope, et cherche la longueur d'onde pour laquelle les deux spectres ont même brillance; cette méthode a été perfectionnée dans le Laboratoire de la Fondation Edmond de Rothschild [3], mais avec les instruments réalisés la précision des mesures photométriques n'était pas très bonne.

Dans le procédé que nous avons mis au point, le rapport Z est étudié à l'aide d'un spectropyromètre, qui doit être à la fois *précis*, *lumineux*, *monochromatique*. Nous avons pu concilier ces qualités en plaçant la plage de comparaison après le prisme dispersif, dans le plan du spectre. Il faut alors un dispositif particulier pour obtenir l'identité de couleur. Dans nos expériences, nous avons utilisé un filament disparaissant ordinaire et un bon verre monochromatique, tout à fait satisfaisant si l'on choisit convenable-

---

(1) Séance du 24 juin 1929.

(2) Hyde, Cady et Forsythe, *Astrophysical J.*, **42**, 1915, p. 294.

(3) Ribaud, Nikitine et Mendousse, *Rev. Opt.*, 7, 1928, p. 196.

ment la longueur d'onde de l'appareil ([1]). Le filament occupant environ 10 Å seulement dans le spectre, on peut employer une fente d'entrée large, et la luminosité permet de descendre jusqu'à 1000° C. avec une fente de 50 Å.

L'étude des flux totaux est faite avec un pyromètre de précision à filament disparaissant dont on a remplacé l'écran par l'écran à étudier, et *sans qu'il soit besoin de le graduer de nouveau*.

Dans les deux appareils, le courant dans le filament disparaissant est la grandeur directement mesurée. Les procédés opératoires sont les suivants :

1° Principe des mesures : la longueur d'onde du spectroscope est *fixe*. Pointés sur une source à température de couleur T_1, le pyromètre donne une température T et le spectropyromètre un courant i (de signification indifférente). On mesure $dT : di$. On pointe ensuite une source à température de couleur T_2 avec interposition d'un secteur tournant pour obtenir sensiblement la même brillance qu'au début. On trouve ainsi une température $T + \delta T$ et un courant $i + \delta i$. De δT et δi se déduit, par deux règles de trois, la différence entre la longueur d'onde du spectroscope et la longueur d'onde effective étudiée. On voit que la température des sources n'est fixée d'avance qu'avec une approximation de quelques degrés.

2° Cette température n'a pas besoin non plus d'être très constante, il suffit qu'elle varie assez régulièrement : un dispositif spécial permet d'entrecroiser les mesures avec les deux appareils, et, avec dix pointés au plus, toute la précision réalisable est atteinte (1 pour 1000 en brillance).

3° Les deux courants pyrométriques sont mesurés avec un même potentiomètre, ce qui élimine les erreurs provenant des variations du courant d'alimentation. En utilisant un galvanomètre comme instrument d'interpolation entre les divisions du potentiomètre, ces mesures de courant sont rapides (5 secondes) et précises (précision relative 10^{-5}).

Résultats. — La précision, d'autant plus grande que T_1 et T_2 sont plus éloignés, permet de les choisir assez rapprochés : pour $T_1 = 1100$ et $T_2 = 1700°$ C., l'écart maximum dans trois montages successifs (10 mesures en tout) a été de ± 4 Å seulement, ce qui correspond à 2 pour 1000 en brillance (somme de toutes les erreurs). Grâce à un écran étalon que M. de Groot a bien voulu nous transmettre, et qui avait été étudié aussi par

---

([1]) Afin d'éviter cette restriction gênante, nous comptons utiliser prochainement un cube de Lummer avec un petit monochromateur supplémentaire.

Forsythe, nous avons pu contrôler nos mesures, dans les limites de précision indiquées par les auteurs.

D'autre part nous avons mesuré l'influence de l'épaisseur d'un écran, ainsi que celle d'un verre neutre ajouté à cet écran, et trouvé des résultats en accord avec la théorie.

Remarque. — Le même montage permet l'étalonnage d'un pyromètre par extrapolation suivant la loi de Planck à partir du point de fusion de l'or. La précision est alors supérieure au degré jusqu'à 2200° C. environ.

DIFFUSION MOLÉCULAIRE. — *Spectres de Raman des para, ortho, métaxylènes.* Note [1] de Mlle **W. Czapska**, transmise par M. M. de Broglie.

On sait qu'en illuminant un complexe de molécules par un faisceau monochromatique de fréquence ν_0, on obtient dans le rayonnement diffusé des raies, dites de Raman, de fréquence $\nu_0 \pm \nu_p$, ν_p désignant les fréquences propres des parties constituantes de la molécule. Ces fréquences ν_p sont caractéristiques pour certains groupes particuliers dans diverses molécules [2].

Il est cependant certain que les vibrations dans la molécule dépendent également des liaisons intramoléculaires qui sont différentes dans diverses parties de la molécule.

Dans le but d'étudier si la position d'un groupe d'atomes dans la molécule exerce une influence sur ses fréquences propres, j'ai étudié le spectre de Raman dans quelques composés isomériques, en particulier dans le para, méta, et orthoxylène. Ces substances à l'état liquide, contenues dans un tube de Wood, étaient illuminées au moyen d'un arc au mercure disposé tout près du tube. La lampe d'une construction spéciale était refroidie par l'eau courante et fonctionnait sous une tension constante de 110 volts et un courant de 10 ampères. La lumière diffusée dans la direction de l'axe du tube par les corps étudiés était projetée sur la fente d'un spectrographe donnant une dispersion de 12 Å par millimètre de la plaque. Les résultats des mesures des clichés obtenus sont réunis dans le tableau I.

On voit que les spectres de Raman ne sont pas les mêmes pour les trois xylènes étudiés; cependant les fréquences $\Delta\nu = 1373$ et $\Delta\nu = 2918$ sont

(1) Séance du 24 juin 1929.

(2) Voir, par exemple, P. Pringsheim et B. Rosen, *Zeits. f. Phys.*, 50, 1928, p. 741.

communes dans ces trois composés. On remarque de plus des fréquences communes à deux de ces corps :

	Δν.	
Para	1180	
Méta	1180	723
Ortho		734

Par contre il n'y a pas de raies qui ne soient communes qu'à l'ortho et le paraxylène.

Il résulte de l'ensemble de ces faits que la position des groupes dans la molécule exerce une influence sur les fréquences propres de certains de ces groupes laissant inaltérées celles des autres. Une étude plus détaillée permettra, sans doute, de discerner quels sont les porteurs de ces diverses fréquences (¹).

Tableau I.

Rayonnement excitateur.		Rayonnement diffusé. Para.				Méta.				Ortho.			
λ_{Hg}.	ν_{Hg}.	λ.	J.	ν.	Δν.	λ.	J.	ν.	Δν.	λ.	J.	ν.	Δν.
4047	24709	4124	1,5	24248	461	4133	1,0	24195	514	4131	1,0	24207	502
		4155	1,5	24067	642	4137	1,0	24172	537	4140	2,0	24131	578
		4184	0,5	23900	810	4140	1,0	24154	555	4171	3,0	23975	734
		4188	3,0	23877	832	4169	3,0	23986	723	4215	1,5	23724	985
		4250	0,5	23529	1180	4217	3,0	23715	994	4226	2,0	23663	1016
		4254	3,0	23507	1202	4250	1,0	23529	1180	4260	2,0	23474	1235
		4286	1,5	23331	1378	4263	1,5	23457	1252	4286	1,5	23331	1378
		4589	2,5	21791	2918	4285	1,5	23337	1372	4589	2,5	21791	2918
						4589	2,5	21791	2918				
4078	24521	4140	1,5	24154	367	4297	2,5	23270	1251	4204	1,0	23786	735
		4221	0,5	23691	830					4245	1,5	23557	964
4340	23041	4578	0,5	21843	1198								
4359	22941	4418	1,5	22634	307	4459	0,5	22426	515	4456	1,0	22441	500
		4447	2,0	22487	454	4464	1,0	22401	540	4472	2,0	22361	580
		4486	0,5	22291	650	4502	3,0	22212	729	4503	3,0	22207	734
		4520	0,5	22125	818	4558	3,0	21939	1002	4556	0,5	21949	992
		4523	2,0	22109	832	4599	0,5	21743	1198	4569	2,0	21886	1055
		4595	0,5	21762	1179	4610	2,5	21691	1250	4603	2,0	21724	1217
		4600	2,0	21739	1202	4636	1,0	21570	1371	4612	2,5	21682	1259
		4637	1,0	21970	1371	4687	1,5	21335	1606	4636	1,5	21570	1371
		4685	1,5	21344	1597	4994	1,5	20024	2918	4685	1,5	21344	1597
		4995	1,5	20020	2921					4994	1,5	20024	2917

(¹) Notons que A. Dadieu et K. W. F. Kohlrausch ont fait tout récemment une étude analogue à la nôtre sans toutefois publier jusqu'à présent les données numériques (voir *Naturwissenschaften*, 17, 1929, p. 366).

ÉLECTROCHIMIE. — *Précipitation de bioxyde de manganèse par électrolyse en courant alternatif.* Note de M. **A.-P. Rollet**, présentée par M. H. Le Chatelier.

L'électrolyse en courant alternatif ne produit souvent aucune modification apparente sur les électrodes ou au sein de l'électrolyte. Cependant, on observe quelquefois le passage en solution du métal des électrodes; on ne connaît guère de cas d'un métal précipité de l'électrolyte par le courant alternatif.

En courant continu, le manganèse se dépose facilement à l'anode à l'état de peroxyde.

J'ai pu obtenir une précipitation complète du manganèse en électrolysant ([1]) par un courant alternatif (50 périodes par seconde) une solution de sel de nickel contenant une petite quantité de manganèse. Au bout d'un certain temps d'électrolyse, on voit apparaître autour des électrodes un trouble brun qui finit par envahir tout le bain et par se déposer au fond de la cuve. Il s'agit de bioxyde de manganèse. Quelquefois, au début de sa formation, un peu de bioxyde recouvre les électrodes d'une couche brune et mince.

Le précipité apparaît très vite (quelques minutes) pour des teneurs en manganèse de l'ordre de 10^{-3}. Quand la teneur est supérieure à 10^{-2}, le dépôt n'apparaît qu'au bout d'un temps assez long (quelques heures). La température du bain doit être inférieure à 30°. La densité de courant efficace doit être très forte; elle dépend, d'ailleurs, de la température : à 0°, elle doit dépasser 0,2 ampère par centimètre carré; à 20°, 0,7 ampère par centimètre carré. Le bain doit être légèrement acide (concentration d'acide libre comprise entre $n/2$ et $n/200$).

La précipitation se produit quel que soit le radical acide du sel ([2]). La présence de nickel paraît absolument nécessaire, il m'a été, en effet, impossible d'obtenir un précipité d'oxyde de manganèse en l'absence de nickel.

L'analyse de ce précipité a été faite par chauffage dans le vide jusqu'à 800°.

([1]) Électrodes de platine ou de nickel.

([2]) Les résultats sont cependant peu nets avec les halogénures.

L'oxyde se décompose dès 400° en donnant Mn^3O^4. L'eau d'hydratation se dégage, mais est retenue dans un condenseur refroidi à —80° (neige carbonique et acétone). L'oxygène supérieur au degré d'oxydation Mn^3O^4 s'échappe. Il est recueilli par une trompe du type Sprengel et mesuré sur le mercure. L'eau est ensuite déterminée par la méthode de MM. Hackspill et d'Huart (réaction sur l'hydrure du calcium et mesure de l'hydrogène dégagé) [1].

Les résultats ont donné très exactement $MnO^2.H^2O$.

Le mécanisme de formation de ce précipité d'oxyde de manganèse paraît difficile à préciser. Il est à noter cependant que le radical acide ne semble pas influer, et que le phénomène n'a lieu qu'avec le nickel.

Le manganèse ne doit être présent qu'en petite quantité; sa précipitation est complète.

Ce phénomène peut servir à déceler une trace infime de manganèse dans des sels de nickel (on a encore un dépôt brun caractéristique pour une teneur en manganèse inférieure à 10^{-4}) et à les débarrasser complètement de cette impureté; aucun corps étranger n'est ainsi ajouté au sel à purifier.

La présence de petites quantités de manganèse semble générale dans les sels commerciaux de nickel.

ÉLECTROCHIMIE. — *Sur les piles à électrolyte fondu. La pile: oxyde de cuivre-soude caustique fondue-zinc.* Note de M. **G.-I. Costeânu**.

La réaction fondamentale de cette pile est l'oxydation du zinc par la soude fondue avec libération d'hydrogène.

L'hydrogène réduit l'oxyde de cuivre de l'anode et donne la réaction de dépolarisation :

$$CuO + 2H = Cu + H^2O.$$

L'étude de cette pile a été faite à la température de 400°, température à laquelle l'eau contenue dans la soude (environ 2 pour 100) est chassée en grande partie, après 4 heures de chauffage.

Pour observer le rôle joué par l'air dans le phénomène de dépolarisation nous avons fait des mesures de f. é. m. et de décharge dans l'air et dans l'azote.

L'électrode d'oxyde de cuivre est obtenue de la manière suivante : On mélange

(1) Hackspill et d'Huart, *Annales de Chimie*, 5, 1926, p. 99.

l'oxyde de cuivre pur, finement pulvérisé, avec un peu d'acide colloïdal [$Cu(OH)^2$ partiellement deshydraté]; on ajoute quelques gouttes d'eau jusqu'à ce qu'on obtienne une pâte très épaisse. Cette pâte fortement comprimée dans un moule donne un bâtonnet que l'on chauffe jusqu'à 1000° dans une atmosphère d'oxygène de manière à le sécher et à l'agglomérer assez fortement, pour qu'il ne se désagrège pas dans la soude fondue. Comme à 1000° il y a une réduction partielle de l'oxyde de cuivre, on réoxyde l'oxydule formé en maintenant longtemps le bâtonnet à 600° dans un courant d'oxygène.

Un fil de cuivre enroulé autour du bâtonnet sert de collecteur de courant.

Au bâtonnet de zinc utilisé comme cathode on soude un fil de cuivre.

On fond 100g de soude pure dans un creuset de nickel, celui-ci résistant très bien à l'action de la soude. Après quelques heures de contact le creuset devient passif. Le creuset est placé dans un vase cylindrique en porcelaine fermé hermétiquement par un couvercle d'amiante luté, chauffé par un enroulement extérieur en fil de nichrome et soigneusement calorifugé. A travers le couvercle passent les électrodes, les tubes d'arrivée et de sortie du gaz et le couple thermo-électrique.

Les premières séries de mesures ont été faites dans l'air.

Les résultats obtenus dans cinq séries successives de mesures sont donnés par les courbes I-V (*fig.* 1).

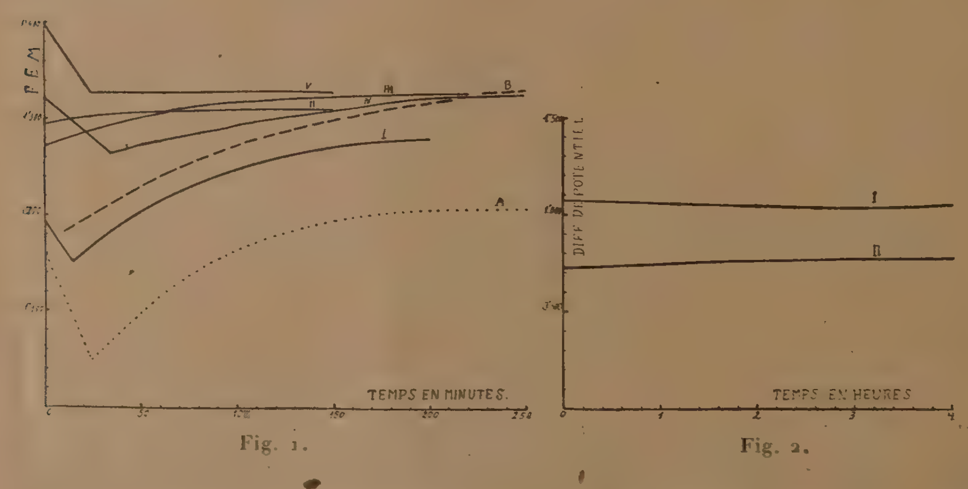


Fig. 1.

Fig. 2.

Dans la première expérience (courbe I), la f. é. m. est inférieure à celles obtenues par la suite et qui concordent finalement à quelques millivolts près avec la valeur moyenne 1,322 volt.

Ceci s'explique par la porosité croissante du bâtonnet d'oxyde de cuivre, qui fait augmenter son pouvoir dépolarisant. Après plusieurs jours de mesures le bâtonnet réduit par l'hydrogène présente de nombreuses cavités qui, lors de l'immersion dans la soude, y introduisent de l'air en quantité

notable. C'est probablement pour cette raison que dans la courbe V, la f. é. m. a pu atteindre initialement une valeur qui se rapproche beaucoup de celles mesurées en atmosphère d'oxygène (1,440 volt).

La pile débite sur 20 ohms un courant très constant tant que le zinc n'est pas fortement attaqué (courbe I, *fig.* 2).

L'oxyde de zinc formé, peu soluble dans la soude fondue, s'agglomère autour du bâtonnet de zinc, d'où l'on peut d'ailleurs le détacher par une agitation verticale.

Du cuivre réduit à l'anode se déplace dans le liquide et se dépose fréquemment sur le zinc. Il peut provenir aussi d'une réduction sur place du composé $Cu(Na)^2$ formé à l'air par action de l'oxyde de cuivre sur la soude qu'il colore en bleu clair.

D'autres séries de mesures ont été faites dans une atmosphère d'azote bien débarrassé d'oxygène.

Les résultats, un peu inférieurs à ceux obtenus dans l'air, sont donnés par la courbe moyenne A (*fig.* 1) : 1,200 volt.

Mais on retrouve la valeur 1,322 volt en ajoutant à la soude quelques grammes de bioxyde de sodium qui agit comme dépolarisant (courbe B, *fig.* 1).

La pile a une résistance intérieure initiale de 1,949 ohm, et débite régulièrement sur 20 ohms pendant plusieurs heures (courbe II, *fig.* 2).

La soude prend alors une teinte rougeâtre due au cuivre en suspension.

Cette pile se recommanderait par la valeur élevée de sa f. é. m. et la constance de son débit, si le zinc n'était fortement attaqué même en circuit ouvert.

PHOTOCHIMIE. — *Déplacement de l'iode d'un iodure par une solution huileuse de cholestérol ou d'ergostérol irradiée par la lumière solaire.* Note de M. **Émile Rousseau**.

Nous avons [1] traduit l'action photochimique, en présence illimitée d'air, qu'exerce la lumière partielle (3650 A, 3341 A, 3132 A), ou simplement monochromatique (3650 A) d'un arc au mercure sur une solution huileuse de cholestérol ou d'ergostérol en dosant l'iode, exprimé en oxygène actif, libéré d'un iodure, ajouté à ces stérols après leur irradiation. Au bout d'une heure d'irradiation cette huile présentait en effet un pouvoir oxydant

---

(1) E. Rousseau, *C. R. Soc. Biol.*, 100, 1929, p. 158.

($0^{mm},060$ par 5^{cm^3}) supérieur à celui de l'huile de foie de morue non irradiée ($0^{mm},030$ par 5^{cm^3}).

Reprenant ces recherches, en opérant d'abord en atmosphère limitée d'air (17^{cm^3}), puis avec les radiations solaires totales, nous avons obtenu les nombres que nous consignons ci-après.

Nos expériences, dont nous donnons une moyenne analytique, ont été plusieurs fois instituées entre le 19 et le 21 juin 1929 de $9^h 45^m$ à $11^h 45^m$ à une altitude de 62^m au-dessus du niveau de la mer.

Les solutions de stérols (0,50 pour 100) ont été, au cours de leur préparation, l'objet des précautions suivantes dans le but d'éviter l'intervention de tout facteur oxydant autre que la lumière solaire (inclusion d'air dans l'huile par agitation prolongée pour dissoudre le stérol, excès de température, etc.).

Séparément et doucement triturés dans un mortier avec 15^{cm^3} d'huile d'olives lavée à l'alcool (Codex) puis versés dans des ballons gradués (50^{cm^3}) les stérols demeurèrent à l'obscurité, au contact de l'huile, pendant 24 heures. Leur adsorption d'huile permet d'obtenir une facile dissolution en chauffant ensuite au bain-marie à $+40°$, les ballons dont le contenu a été porté à 50^{cm^3}, au préalable, par addition d'huile d'olives.

Les solutions filtrées à l'abri de l'air (papier sans cendres) ont été réparties, à la dose de 5^{cm^3}, dans une série de tubes en quartz préalablement lavés avec SO^4H^2 pur, l'eau distillée, l'acétone, enfin séchés. Ces tubes, bouchés avec du liège neuf, lavés à l'alcool-éther, ont été placés, avec une inclinaison d'environ 10°, sur une planchette de bois, posée sur le sol, elle-même recouverte d'une feuille de papier blanc. Après l'irradiation solaire l'iode libéré de l'iodure ajouté (10^{cm^3} sol. à 20 pour 100) a été dosé conformément à notre technique déjà décrite ([1]). Cet iode est exprimé en oxygène actif dans le tableau suivant (titrage fait sur 5^{cm^3} de solution huileuse de stérol).

Temps d'irradiation.	Huile d'olives.	Cholestérol (0,50 %).	Ergostérol (0,50 %).	Température de l'air.	Température des liquides.
Témoin.......	0,032	–	–	–	+15°
Témoin.......	–	0,084	0,184	–	+15
30 minutes......	–	0,176	0,230	+37,4	+31,5
1 heure......	–	0,184	0,298	+37,8	+31,6
1 h. 30 min...	–	0,192	0,304	+38	+31,8
2 heures......	–	0,244	0,360	+39	+31,9

([1]) E. Rousseau, *loc. cit.*

De l'examen de ces chiffres, il ressort que :

1° L'ergostérol présente un pouvoir d'oxydation supérieur à celui du cholestérol quand ceux-ci, en solution huileuse, en présence limitée d'air, sont soumis à l'action des radiations solaires totales;

2° En comparant ces dosages avec ceux que nous avons déjà obtenus, on constate que l'effet photochimique engendré par les radiations solaires a été, d'une façon générale, dix fois supérieur à celui qu'engendrèrent les trois radiations d'un arc à vapeur de mercure (3650 A, 3341 A, 3132 A) ou la radiation monochromatique 3650 A, isolée de cet arc.

Des essais physiologiques seront institués dans le but de déterminer s'il existe une relation entre nos réactions photochimiques et l'activité antirachitique des stérols que nous avons irradiés avec la lumière solaire.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Densités du potassium et du sodium liquide.* Note de M. E. **Rinck**, présentée par M. H. Le Chatelier

En 1924, Richard Lorenz et Van Laer (1) ont proposé une nouvelle loi d'action de masse s'appliquant aux systèmes condensés hétérogènes. Un exemple d'un tel système est fourni par le système $Na + KCl \rightleftarrows K + NaCl$ que nous avons étudié précédemment en collaboration avec M. Hackspill (2). L'application de cette loi nécessite la connaissance du volume atomique à la température d'équilibre de tous les constituants, notamment celui du sodium et du potassium. Les densités de ces métaux n'ayant été déterminées que jusqu'au point de fusion, il nous a paru intéressant de faire des déterminations à des températures plus élevées, se rapprochant autant que possible du point d'ébullition.

Pour cela nous avons employé avec succès la méthode hydrostatique.

Le métal alcalin était obtenu à l'état pur par double distillation fractionnée dans le vide, du métal du commerce. Il était contenu dans un tube de nickel placé au centre d'un bloc cylindrique d'aluminium pesant 30kg et chauffé électriquement par le courant d'une batterie d'accumulateurs. Ce dispositif nous permettait d'obtenir au centre du bloc des températures uniformes et constantes à moins de 1/10° C.

La température était mesurée par un couple thermo-électrique relié à un dispositif potentiométrique extrêmement sensible, permettant de déceler des variations de l'ordre de 1/1000° C.

---

(1) Rich. Lorenz, *Zeit. anorg. allg. Ch.*, 138, 1924, p. 285.

(2) *Comptes rendus*, 185, 1927, p. 463.

L'étalonnage du couple était fait par détermination des points fixes internationaux et par comparaison avec un thermomètre étalon à résistance de platine. Les températures sont ainsi connues avec une erreur inférieure à 0°,5 C. Un corps en cuivre très bien nickelé, plongeant dans le métal alcalin était suspendu moyennant un fil de nickel en dessous d'un plateau d'une balance sensible.

Pendant toute l'opération, un lent courant d'azote pur et sec passait dans le tube contenant le métal à étudier.

Par pesée, on déterminait ainsi la poussée du liquide sur le plongeur. Connaissant le volume de ce dernier à la température de l'opération, on déduisait la densité du métal alcalin. Des résultats certains ne sont obtenus qu'à des températures supérieures à 300° C. pour le potassium, à 400° pour le sodium. (En effet, à des températures inférieures à ces limites, la viscosité des métaux K et Na est trop grande pour qu'on puisse mesurer avec certitude la poussée exercée.)

Voici les résultats obtenus par deux séries de déterminations différentes pour chaque métal :

	Densité Na.			Densité K.	
T°.	Essai 1.	Essai 2.	T°.	Essai 1.	Essai 2.
429.......	0,852		325.......		0,768
448.......		0,846	354.......	0,763	
501.......	0,832		367.......		0,759
506.......		0,833	398.......		0,750
530.......	0,827		416,5.....	0,746	
545.......	0,821		478.......	0,732	
547.......		0,821	483.......		0,741
589,5.....		0,811	523.......		0,733
590.......	0,812		565,5.....		0,715
626.......		0,802	595,5.....		0,708
639,5.....		0,798			

Ces points sont situés sur des droites dont le prolongement passe exactement par les points représentant la densité de K et Na à leur point de fusion ([1]).

On a donc :

$$d_{Na} = 0,9835 - 0,000260\,(t - 96,5)$$
$$d_K = 0,826 - 0,000222\,(t - 62,4)$$

entre la fusion et 650° C.

Les points expérimentaux s'écartent au maximum de $\frac{1}{500}$ des points de ces

([1]) Hackspill, *Annales de Chimie*, 8e série, 28, 1913, p. 636.

droites, la troisième décimale est donc connue avec une incertitude de 1 à 2 unités.

Dans ces conditions une extrapolation jusqu'aux environs de 800 à 900° est parfaitement légitime. Nous pouvons grâce à elle calculer la constante de la loi de Lorentz appliquée au système $Na + KCl \rightleftarrows K + NaCl$.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Sur les suspensions de kaolin dans divers milieux.* Note de MM. **René Dubrisay, Jean Trillat** et **Astier**, présentée par M. H. Le Chatelier.

Dans une précédente Note ([1]), nous avons montré qu'en délayant du kaolin dans diverses solutions minérales, on obtenait des suspensions stables dans les liqueurs alcalines suffisamment diluées, alors que dans les solutions acides ou dans les alcalis concentrés on observe la floculation des particules. Il nous a semblé intéressant de reprendre des études abordées déjà par certains auteurs ([2]) relativement aux caractéristiques des dépôts obtenus dans les divers milieux.

Dans ce but, 10g de kaolin étaient mis en présence de 80cm³ de liqueur. Le tout était placé dans des cloches graduées et agité mécaniquement pendant 12 heures. On disposait les cloches verticalement, et on lisait, chaque jour, le volume occupé jusqu'au moment où ce volume ne variait plus ([3]). Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau.

a. Dépôt dans des solutions de soude.

Titre des liqueurs en mol. par litre...	N/3.	N/6.	N/12.	N/24.	N/34.	N/600.	N/1500.	0.
Volume du dépôt.....	26,4	18,8	17,0	16,2	15,4	16,4	32,4	34

b. Dépôt dans des solutions de chaux.

Titre des liqueurs...	N/18.	N/90.	N/180.	N/270.	N/360.	0.
Volume du dépôt.....	54,4	37,6	23	23	26,0	34

([1]) Dubrisay et Astier, *Comptes rendus*, 187, 1928, p. 978.

([2]) *Bottcher Sprechsaal*, 42, 1909, p. 117.

([3]) L'invariabilité du dépôt ne se produisant pas avant un mois dans les liqueurs faiblement alcalines, alors qu'elle était réalisée au bout de 4 à 5 jours dans des milieux floculants.

c. Dépôt dans des solutions d'acide sulfurique.

Titre des liqueurs...	N/30.	N/300.	N/1800.	N/3000.	N/6000.	0.
Volume du dépôt......	31,6	34,6	33,6	33,4	34,8	34

Dans la liqueur sodique, le volume du dépôt commence donc par décroître quand la concentration augmente, passe par un minimum, puis croît à nouveau. Si l'on se reporte à notre première Note, on constate que le minimum du volume du dépôt se produit dans les milieux où les suspensions sont stables, c'est-à-dire où le liquide surnageant présente des caractères colloïdaux. L'allure du phénomène est la même avec les solutions de potasse et de lithine : mais dans les milieux concentrés, l'épaisseur du dépôt est beaucoup plus grande avec la potasse qu'avec la soude (42$^{cm^3}$ en solution N/3 au lieu de 26,4 dans la soude).

En présence des solutions de chaux, il est à noter qu'aux grandes dilutions (N/90, N/180 et N/270) le liquide surnageant le dépôt reste trouble : les bases alcalino-terreuses peuvent donc aux faibles concentrations stabiliser les suspensions de même que les bases alcalines; et, ici encore, un minimum apparaît dans l'épaisseur du dépôt. On obtient avec la baryte des résultats analogues.

Avec les solutions d'acide sulfurique, les variations de volume sont moins accusées; en tout cas, le phénomène du minimum n'apparaît pas : on est d'ailleurs arrêté par le fait qu'une attaque se manifeste assez rapidement, lorsque la concentration de l'acide augmente. Les résultats sont identiques dans le cas de l'acide phosphorique, de l'acide azotique et de l'acide chlorhydrique.

Les changements observés dans le volume des dépôts sont dus à la proportion d'eau d'interposition entre les particules. En effet, dans toutes les expériences, le volume final de l'ensemble liquide-dépôt est le même; la proportion de liquide interposée dans le dépôt est donc nécessairement plus faible, et de beaucoup, dans les expériences correspondant au minimum de volume. Nous avons pu constater d'ailleurs qu'une centrifugation énergique ramène toutes les épaisseurs de la partie solide à la même valeur quelle que soit la nature du milieu (1).

---

(1) Deux grammes de kaolin étaient délayés dans 15$^{cm^3}$ d'eau et de solutions alcalines diverses. On laissait déposer pendant 48 heures, on centrifugeait pendant 2 heures, puis on lisait le volume. On obtenait ainsi les résultats suivants :

Titre des liqueurs sodiques..........	N/3.	N/36.	N/120.	0.
Volume du dépôt après centrifugation..	2,5	2,5	2,4	2,5

Nous avons enfin cherché à étudier la structure des particules qui constituent le dépôt au moyen des spectrogrammes X, obtenus par la méthode Debye-Sherrer. Dans le cas de l'eau pure, de la soude normale ou de l'eau de chaux (c'est-à-dire dans les milieux floculants donnant de grandes épaisseurs de dépôt), on obtient des anneaux circulaires très nets identiques entre eux, et identiques à ceux que donne le kaolin sec, et qui prouvent une structure microcristallisée. Au contraire, dans les milieux faiblement alcalins, la largeur des anneaux augmente et leur intensité diminue, leur position restant d'ailleurs inchangée. Nous nous proposons de discuter ultérieurement l'interprétation de ce phénomène.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Polarisation elliptique produite par réflexion à la surface des solutions d'acides gras dans l'eau.* Note de M. **Ch. Bouhet**, présentée par M. A. Cotton.

Dans une Note précédente [1], j'ai donné pour des solutions d'acides gras dans l'eau, de C^2 à C^5, à diverses concentrations, la valeur de l'ellipticité produite par réflexion de la lumière polarisée rectilignement; j'ai poursuivi ces recherches en étudiant tous les acides saturés normaux jusqu'au terme en C^{10}.

L'ellipticité K est mesurée, comme précédemment [2], pour la radiation verte $\lambda = 546$ de mercure, par la méthode de Chaumont. La surface de la solution étudiée est essuyée avec un papier fin avant de faire les pointés.

La figure ci-après donne l'ensemble des résultats obtenus.

La solubilité des acides gras décroissant très rapidement quand croît le nombre d'atomes de carbone, j'ai porté en abscisse le rapport de la concentration de la solution étudiée à la concentration de la solution saturée; l'abscisse 1 correspond donc pour tous les acides à une solution saturée [3]. Les ellipticités K ont été portées en ordonnées; les valeurs expérimentales représentées par des cercles sont relatives à des solutions dans l'eau pure, celles représentées par des croix à des solutions acidulées par HCl.

1° On peut noter la grande analogie des courbes relatives aux divers acides; en particulier, on retrouve pour tous les acides la valeur limite de

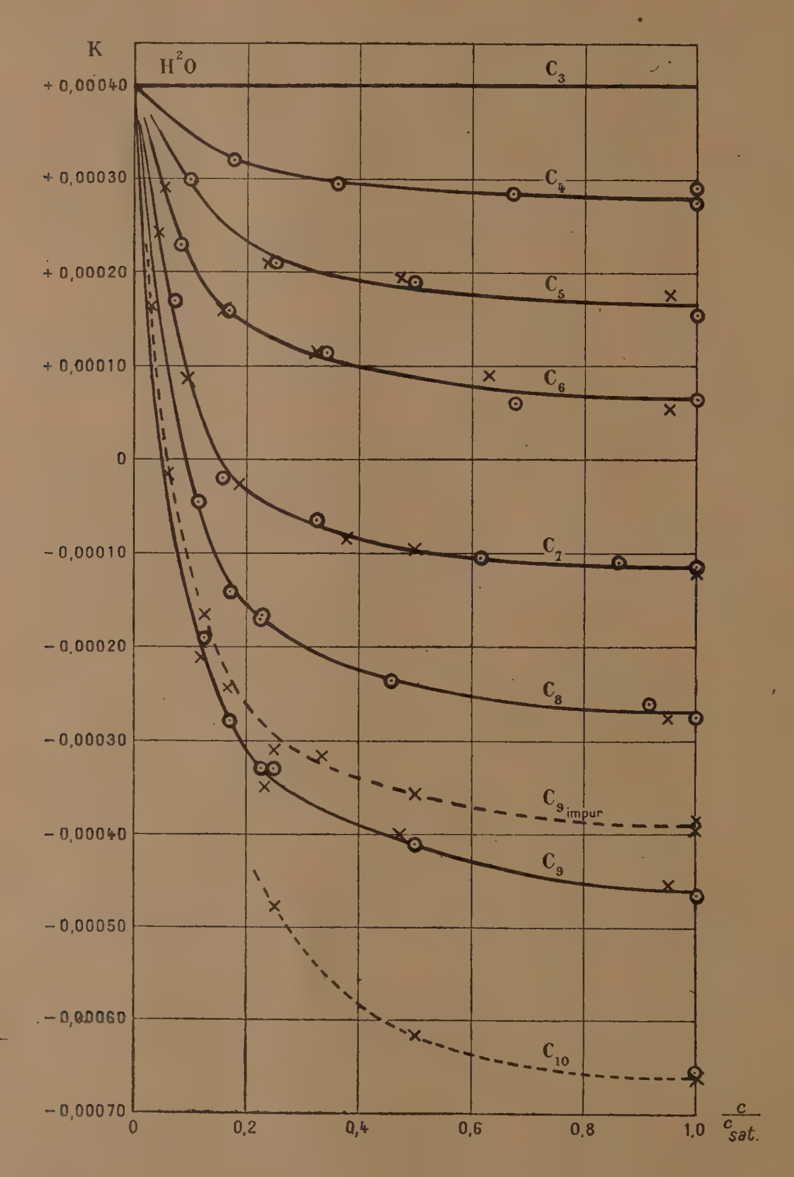
---

(1) *Comptes rendus*, **188**, 1929, p. 59.

(2) *Comptes rendus*, **185**, 1927, p. 53.

(3) Dans le cas de l'acide butyrique, miscible à l'eau en toutes proportions, l'abscisse 1 correspond à la solution présentant l'ellipticité minima.

l'ellipticité déjà signalée pour les acides en C^4 et C^5. Pour tous les acides non miscibles à l'eau en toutes proportions, cette ellipticité limite se produit lorsque la solution est saturée. Si, par un choix convenable de l'échelle



des ordonnées pour chaque acide, on s'arrange de façon à obtenir pour tous les acides les mêmes ordonnées pour les abscisses 0 et 1, les courbes obtenues ne deviennent cependant pas complètement superposables; elles se déplacent en général vers les ellipticités plus petites quand le nombre

d'atomes de carbone croît, ce qui indique une adsorption relativement plus grande aux faibles concentrations pour les acides plus élevés dans la série. L'addition de HCl n'a aucune influence, contrairement à ce qui se passe pour les couches monomoléculaires d'acides insolubles.

2° Pour les solutions présentant l'ellipticité limite l'aire occupée par chaque molécule d'acide à la surface de la solution, calculée à partir des données de Schofield et Rideal ([1]), est pour tous les acides très voisine de 25×10^{-16} cm², en très bon accord avec la valeur expérimentale déterminée par Adam ([2]) pour les couches monomoléculaires d'acides insolubles.

3° L'étude aux rayons X des acide gras, faite en particulier par Gibbs ([3]) sur les acides de C^1 à C^{10} à l'état solide, et par Morrow ([4]) sur les mêmes acides à l'état liquide, a montré que la longueur de la molécule croît linéairement, à partir de l'acide en C^3, en fonction du nombre d'atomes de carbone; il y a un brusque changement dans la variation de longueur pour les acides en C^1 et C^2. On retrouve ici des résultats tout à fait parallèles; les ellipticités limites décroissent en effet très régulièrement à partir de l'acide en C^3 quand croît le nombre d'atomes de carbone, tandis que pour l'acide en C^2 il est impossible de fixer une valeur de l'ellipticité analogue au palier de l'acide en C^3 ou au minimum des acides plus élevés.

Ces résultats confirment d'une manière directe complètement indépendante de l'équation d'adsorption de W. Gibbs l'hypothèse de l'orientation des molécules perpendiculairement à la surface du liquide.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Sur l'effet photographique produit par les stérols, après leur exposition aux rayons ultraviolets.* Note de MM. **J. Cluzet** et **Kofman**, présentée par M. A. Desgrez.

On sait, depuis les travaux de Takahashi et de Hamano, que les corps antirachitiques et, en particulier, les stérols préalablement soumis aux rayons ultraviolets, ont le pouvoir d'impressionner la plaque photographique.

Pour la plupart des auteurs, il s'agirait d'un phénomène purement chimique, et tout se passerait comme si les rayons ultraviolets faisaient

---

([1]) *Proc. Roy. Soc. London*, **109**, 1925, p. 57.
([2]) *Proc. Roy. Soc. London*, **101**, 1922, p. 452.
([3]) *Journ. Chem. Soc. London*, **125**, 1924, p. 2622.
([4]) *Phys. Rev.*, **31**, 1928, p. 10.

apparaître un corps nouveau, capable d'agir sur la couche de gélatine bromure d'argent.

Nous avons fait connaître ([1]) le résultat de nos expériences avec la cholestérine et l'ergostérine ([2]); ils nous paraissent démontrer que le noircissement du cliché n'est pas dû à des radiations émises par les stérols. En effet, puisque l'interposition des lames de verre et de quartz supprime l'effet photographique, celui-ci ne pourrait être produit que par des radiations ultraviolettes de très courte longueur d'onde. Mais comme nous n'avons jamais observé d'ombre portée sur des lames, ou de tout objet interposé entre la plaque et la substance, on ne peut croire à un rayonnement lumineux, même de très courte longueur d'onde. D'ailleurs s'il s'agissait d'un phénomène de phosphorescence, les rayons émis par la substance auraient, d'après la loi de Stockes, une longueur d'onde supérieure aux rayons absorbés (de 2800 à 3000 Å, d'après Fabre et Simonnet) et ne seraient pas, par suite, arrêtés par le quartz.

On pourrait peut-être supposer encore que le phénomène est dû à des rayons corpusculaires; mais nous avons constaté, d'une part, que l'aimant ne modifie pas l'image photographique et, d'autre part, que les substances activées ne déchargent nullement l'électroscope.

Voici de nouvelles expériences qui paraissent aussi démonstratives.

On place au fond de trois petits godets de porcelaine ayant 4 ou 5^{mm} de hauteur une mince couche de cholestérine ou d'ergostérine préalablement exposée, pendant 5 à 10 minutes et à une distance de 60^{cm}, au rayonnement d'un brûleur à vapeur de mercure. Sur l'un des godets, on dispose (dans le cabinet noir) une plaque photographique, gélatine en dessous; l'orifice du deuxième et du troisième godet sont recouverts complètement, l'un par une lame de quartz *non radioactif* et l'autre par une pellicule de célophane, et, par-dessus la lame et la pellicule, on dispose encore une plaque sensible débordant largement la lame et la pellicule.

Après avoir laissé les préparations 12 jours dans l'obscurité, on n'obtient d'image qu'avec le premier godet. Mais, si l'on refait les mêmes expériences de telle sorte que les deux derniers godets ne soient obturés qu'incomplètement par la lame ou la pellicule, la plaque photographique est impressionnée en dehors des bords de la lame et de la pellicule.

([1]) J. Cluzet et Kofman, *C. R. Soc. Biol.*, 6, 1929, p. 666.

([2]) La cholestérine (Byla) était extraite de la matière cérébrale du mouton : l'ergostérine (Rhône-Poulenc) avait pour formule $C^{27}H^{42}O, H^2O$.

Cependant la lame de quartz est transparente jusqu'à 2302 Å et la pellicule jusqu'à 2805 Å (1).

De plus, si l'on chauffe à l'air libre, jusqu'à 80° environ, des pellicules de cholestérine préalablement irradiées, on constate que l'effet photographique ne se produit plus; avec l'ergostérine, l'effet est seulement très atténué. Le même résultat est obtenu si l'on soumet les stérols irradiés à une lampe à infrarouge.

Ces résultats ne concordent pas avec l'hypothèse d'une phosphorescence des stérols produits par l'ultraviolet, mais ils viennent à l'appui, au contraire, de l'explication donnée par certains auteurs qui font intervenir la formation de corps gazeux produits par les stérols, à la suite de l'irradiation.

Quoi qu'il en soit de leur explication, ces phénomènes se reproduisent identiquement si, au lieu d'ultraviolet, on emploie les rayons X ou le rayonnement du radium. Il a fallu une dose de rayons X égale à 5000 R environ, sous filtre et avec une pénétration de 20cm d'étincelle équivalente, ou une exposition de trois jours au voisinage immédiat d'un appareil à sels collés de 10mg de bromure de radium pour qu'un échantillon de cholestérine agisse, après irradiation sur la plaque photographique, avec autant d'intensité qu'après l'exposition à l'ultraviolet.

Ainsi les rayons X et le rayonnement du radium donnent aux stérols la photo-activité comme l'ultraviolet, tandis que l'infrarouge et le chauffage au bain-marie s'opposent à l'action des radiations de courte longueur d'onde.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Sur l'activité photochimique de divers stérols et sur la nature de leur action.* Note de MM. **L. Hugounenq** et **E. Couture**, présentée par M. A. Desgrez.

Poursuivant nos recherches sur l'action photochimique des stérols, nous avons constaté que, parmi les produits non soumis à une irradiation méthodique, mais seulement exposés à la lumière diffuse du laboratoire, seuls les stérols de l'huile de foie de morue, du Bombyx et de la levure de bière, impressionnent la plaque photographique, le produit étant en contact direct avec la couche sensible. Toutefois, le stérol de l'huile de foie de morue a

(1) Les mesures spectrographiques ont été effectuées par M. Nogier, que nous remercions ici.

perdu son activité après un séjour de deux mois à l'obscurité complète. Se sont montrés inactifs, après exposition à la lumière diffuse, les stérols de diverses origines, telles que : huile d'œuf, harengs frais ou saurs, ergot de seigle, escargot, sang et cerveau de bœuf, calculs biliaires. L'acétate de cholestérol (Bombyx) s'est également montré inactif.

Après insolation d'une durée de un mois sous une mince membrane de cellophane, nous avons obtenu des résultats positifs avec les stérols extraits du sang de bœuf, de la substance grise du cerveau humain et de la poudre d'ergot de seigle. L'insolation avait intensifié l'activité photochimique des stérols d'huile de foie de morue et de la levure. Sont restés inactifs, après insolation, les stérols du cerveau de bœuf, de l'huile d'œuf, de hareng et des calculs biliaires. Soumettant ces divers échantillons à l'action d'une lampe à mercure, pendant une demi-heure, à la distance de 60^{cm} (solutions dans l'alcool à 95°, température +18°, même concentration), nous avons constaté des résultats du même ordre.

Dans une seconde série d'expériences, au lieu de disposer les produits directement en contact avec la couche sensible, nous avons à l'aide de divers dispositifs soumis la plaque photographique à l'action des stérols placés à des distances variables (de 3^{mm} à 6^{cm}). Seuls les stérols de l'huile de foie de morue, irradiés pendant une demi-heure ou insolés pendant un mois, ont impressionné la plaque, même quand ils étaient disposés verticalement en face de celle-ci.

L'activité photochimique est accélérée et intensifiée par l'élévation de la température jusqu'à 40° et la présence d'un oxydant, tel que le borate de manganèse. Elle ne s'exerce pas à travers une lame de quartz transparent.

Ajoutons que l'indol et le scatol exposés à la lumière manifestent, eux aussi, au cours de la résinification qu'ils subissent, une activité photochimique comparable à celle des stérols.

La photo-activité des stérols ne paraît pas être sous la dépendance d'un phénomène d'ordre physique. Nous croyons pouvoir la rattacher à une réaction chimique. En effet, nous avons pu constater que les stérols activés par exposition à la lumière ou par irradiation prennent une teinte jaune et dégagent, à la température ordinaire, un produit volatil, lourd qui réduit l'azotate d'argent ammoniacal et colore en rose le réactif de Schiff, ce qui indique la présence d'une aldéhyde. La présence de l'oxygène actif a été constatée par la mise en liberté de l'iode de l'iodure de potassium acidifié par l'acide sulfurique (15 pour 100), suivant la méthode Kingzeff; mais nous n'avons pu déceler trace d'eau oxygénée.

Ces caractères nous autorisent à penser qu'au cours de l'insolation ou de l'irradiation à l'air libre, certains stérols donnent des ozonides, grâce à la double liaison existant dans leur molécule.

CHIMIE MINÉRALE. — *Complexes dérivés de l'acide triazine-tricarboxylique.* Note de MM. **Paul Pascal** et **René Lecuir.**

L'un de nous (1) a déjà montré que le noyau triazinique, soupçonné par certains dans les ferro- et ferricyanures, était générateur de complexes, particulièrement au départ de ses produits de substitution carboxylés. Nous nous proposons de donner ici une idée d'ensemble des principaux résultats obtenus.

L'addition d'un sel métallique à une solution de triazine-tricarboxylate de potassium $C^3N^3(CO^2K)^3$ donne lieu généralement à la production d'un précipité, soluble au début dans l'excès de sel alcalin; on constate en même temps l'apparition de teintes très vives et tout à fait inattendues; les caractères analytiques du métal lourd correspondant s'atténuent ou disparaissent. Nous avons montré que ces anomalies étaient dues à la formation d'ions complexes du type $\{M[C^3N^3(CO^2)^3]^2\}$ qu'on peut écrire pour simplifier : $[M(CNCO^2)^6]$.

Trois processus différents peuvent être utilisés dans cette étude :

1° Quand on arrête l'addition du sel de métal lourd au moment où le précipité cesse de se redissoudre dans l'excès de sel alcalin, on observe généralement, au bout de quelques minutes ou de quelques heures, la précipitation de cristaux microscopiques ou de flocons vivement colorés, dus à la réaction du complexe sur ses produits d'hydrolyse. On sépare ainsi les sels mixtes peu solubles :

$$[Fe''(CNCO^2)^6]^2 Fe''K^6, 24H^2O,$$

cristaux violet gris foncé, donnant une solution rouge vineux;

$$[Mn''(CNCO^2)^6] Mn''K^2, 6H^2O,$$

cristaux jaune d'or très peu solubles;

$$[Cr'''(CNCO^2)^6]^2 Cr''K^3, 40H^2O,$$

(1) *Comptes rendus*, 180, 1925, p. 1850.

fins cristaux chatoyants d'un violet gris clair;

$$[Co'''(CN\,CO^2)^6]^2\,Co''K^3,\ 24H^2O,$$

cristaux violet pâle, quand on part d'une solution d'un sel cobalteux additionné d'eau oxygénée;

$$[Fe'''(CN\,CO^2)^6]\,Fe'''K^3,\ 3[Fe'''(CN\,CO^2)^6]K^3,\ 40H^2O,$$

cristaux microscopiques d'un jaune orangé.

La formation des sels analogues du nickel et du cobalt bivalent

$$[Ni(CN\,CO^2)^6]\,Ni''K^2,\ H^2O \quad \text{et} \quad [Co''(CN\,CO^2)^6]^2\,Co''K^6,\ 8H^2O,$$

respectivement vert clair et chamois clair, est toujours précédée par la précipitation de sels non potassiques que nous allons décrire.

2° Quand on verse la solution du sel de potassium dans celle du métal lourd, de façon à laisser toujours un excès de celui-ci, on arrive à déplacer généralement tout le métal alcalin des complexes précédents; on obtient ainsi :

$$[Fe'''(CN\,CO^2)^6]\,Fe''',\ 24H^2O \quad \text{et} \quad [Co''(CN\,CO^2)^6]\,Co''^2,\ 9H^2O,$$

tous deux en cristaux chamois;

$$[Ni(CN\,CO^2)^6]\,Ni^2,\ 4H^2O,$$

de couleur vert d'eau, et bien exempt du sel mixte déjà signalé.

Il est impossible, en partant des sels de manganèse ou de chrome, d'avoir autre chose que les sels mixtes précédents.

3° Enfin, en opérant au contraire en solution saturée, contenant un grand excès de sel alcalin (10^mol par exemple, au moins, pour une de sel de métal lourd), on obtient parfois des sels complexes purement alcalins, assez solubles, et qu'il faut séparer par addition ménagée d'alcool.

Tels sont les complexes : $[Fe''(CNCO^2)^6]K^4$ couleur lie de vin et $[Fe'''(CNCO^2)^6]K^3,\ 20H^2O$ en cristaux jaune orangé clair.

La précipitation des solutions de sels cobalteux nous a fourni un exemple d'isomérie assez curieuse qui mérite d'être signalé. En opérant en liqueur concentrée, la solution jaune brunâtre initiale laisse déposer successivement les sels déjà signalés : $[Co''(CNCO^2)^6]Co''^2,\ 9H^2O$, chamois, et

$$[Co''(CNCO^2)^6]^2\,Co''K^6,\ 8H^2O,$$

chamois clair; elle vire en même temps au rose rougeâtre, perd encore un peu de sels basiques qui n'ont pu être identifiés, et le liquide restant prend une réaction acide.

Alors apparaissent lentement sur les parois du vase des croûtes cristallines rose vif, dont la composition pondérale est rigoureusement celle du précipité chamois du début. Il est d'ailleurs facile d'obtenir ce sel rose en maintenant le précipité chamois au contact d'un liquide faiblement acide; sa transformation est presque instantanée.

Le phénomène n'est pas dû à la production de l'isomère stéréochimique que l'on pourrait prévoir, bien qu'il soit peu en accord avec la théorie des tensions de Baeyer; nous avons pu vérifier en effet que le sel rose contient des radicaux triaziniques, mais surtout des radicaux oxaliques et ammonium. Il s'agit donc d'une hydrolyse interne de la chaîne triazinique carboxylée, si peu stable dans ces composés, avec formation du sel complexe double du cobalt et de l'ammonium : $[Co''(CNCO^2)^6]Co''^2 + 9[Co''(C^2O^4)^2](NH^4)^2$.

Il est assez curieux que cette hydrolyse ne fasse appel qu'aux molécules d'eau de cristallisation, et s'arrête en chemin quand cette réserve a été tout entière utilisée.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur les carbonates organomagnésiens mixtes vrais.* Note [1] de M. **D. Ivanoff**, transmise par M. V. Grignard.

M. Grignard [2] a démontré que les dérivés organomagnésiens fixent l'anhydride carbonique et qu'il se forme le complexe R.CO.O.MgX, qui est appelé couramment *carbonate organomagnésien mixte*. Cette dénomination vient certainement du fait que ces combinaisons sont dérivées de l'anhydride de l'acide carbonique. La structure de ces corps répond au schéma (I) et elle n'est pas identique à celle des dérivés de l'acide carbonique. Les vrais carbonates organomagnésiens mixtes doivent avoir la constitution (II)

$$(\mathrm{I})\quad \begin{array}{c} \mathrm{R} \\ | \\ \mathrm{C{=}O} \\ | \\ \mathrm{OMgX} \end{array} \qquad\qquad (\mathrm{II})\quad \begin{array}{c} \mathrm{OR} \\ | \\ \mathrm{C{=}O} \\ | \\ \mathrm{OMgX} \end{array}$$

J'ai pu obtenir assez facilement ces derniers corps à partir des alcoolates organomagnésiens mixtes et de l'anhydride carbonique; la dénomination carbonates organomagnésiens mixtes pour les combinaisons de formule (I)

(1) Séance du 24 juin 1929.

(2) *Ann. Chim. phys.*, 24, 1901, p. 454.

est inexacte et doit être abandonnée. Tout au plus, pourrait-on appeler ces corps des *carboxylates magnésiens mixtes*, mais il est bien plus logique de les dénommer comme *sels magnésiens mixtes;* par exemple,

$$C^2H^5CO.OMgBr$$

est le *propionate* (ou *propanoate*) *bromomagnésien*. Les carbonates vrais [formule (II)] peuvent alors conserver leur véritable nom de *carbonates organomagnésiens mixtes;* par exemple,

$$C^2H^5O.CO.OMgBr$$

sera le *carbonate éthylbromomagnésien* ou l'*éthylcarbonate bromomagnésien*.

Pour préparer lesdits carbonates je suis parti en général de $\frac{2}{10}$ de molécule-gramme du réactif de Grignard correspondant qui est oxydé avec de l'oxygène moléculaire en vase fermé et à 0° (1), puis l'alcoolate mixte est soumis à l'action du gaz carbonique à la même température et toujours en vase fermé (2). Pendant ces opérations le ballon est constamment agité à la main. La carbonatation au commencement se fait assez vite, mais vers la fin le carbonate solide formé enrobe une partie de l'alcoolate et il est utile de temps en temps d'ouvrir le ballon et de brasser la masse au moyen d'une baguette. De cette façon on arrive à réaliser une carbonatation complète en employant une molécule de gaz carbonique pour une molécule d'alcoolate.

Ainsi ont été préparés les carbonates correspondant aux hydrocarbures halogénés suivants : C^2H^5Br, n-C^3H^7Br, iso-C^3H^7Br, n-C^4H^9Cl, n-C^4H^9Br, iso-C^4H^9Br, iso-$C^5H^{11}Br$, $C^6H^5CH^2Cl$ et $C^6H^{11}Br$.

Les carbonates des alcoolates magnésiens primaires sont des poudres blanches peu solubles dans l'éther, tandis que ceux des alcoolates magnésiens secondaires sont pâteux. Ces corps traités par l'eau donnent l'alcool correspondant qui s'extrait facilement à l'éther et un hydrocarbonate de magnésium. Si l'hydrolyse s'effectue avec un acide minéral, il se forme toujours l'alcool et il se dégage du gaz carbonique. Par conséquent, ils contiennent un groupe alcoxyle et le résidu de l'acide carbonique et leur constitution ne peut être que celle exprimée par la formule (II).

Comme il est dit plus haut, les carbonates organomagnésiens mixtes sont peu solubles dans l'éther, mais par contre ils sont très solubles dans les alcools (CH^3OH, C^2H^5OH, n-C^4H^9OH), dans le phénol, la pyridine et

(1) Ivanoff, *Bull. Soc. chim.*, 39, 1926, p. 47.
(2) *Ibid.*, 37, 1925, p. 287.

l'aniline. Dans les mêmes corps se dissolvent aussi les carboxylates organomagnésiens mixtes. Ces solutions, vraisemblablement, peuvent être utilisées pour déterminer leurs poids moléculaires, ce que j'ai l'intention de faire.

Je continue l'étude des carbonates et l'action de l'anhydride sulfureux et du sulfure de carbone sur les alcoolates organomagnésiens mixtes.

MÉTÉOROLOGIE. — *Relation entre les titres en ozone de l'air du sol et de l'air de la haute atmosphère.* Note de MM. **A. Lepape** et **G. Colange**, présentée par M. Ch. Fabry.

Au cours de recherches poursuivies actuellement à l'Observatoire de Trappes et au Collège de France sur la composition chimique de la moyenne atmosphère nous avons été amenés à comparer des dosages d'ozone faits avant la guerre à Paris au Parc Montsouris ([1]) avec les études actuelles sur la couche d'ozone découverte dans la haute atmosphère par MM. Fabry et Buisson ([2]).

La teneur en ozone au sol a été mesurée en faisant passer une grande quantité d'air dans une solution d'arsénite de potassium et d'iodure de potassium. Les chimistes de l'Observatoire de Montsouris ont effectué un dosage par jour de 1875 à 1908. Ils ont trouvé une teneur en ozone variant de 1 à 2^{mg} pour 100^{m^3} d'air. Si nous supposions cette proportion constante dans toute l'atmosphère, elle correspondrait dans les conditions normales à une couche d'ozone de 1 à 2 centièmes de millimètre d'épaisseur, en employant le langage des spectroscopistes.

Ces derniers ayant trouvé que l'épaisseur de la couche est de 2 à 3^{mm} on voit que la teneur est beaucoup plus élevée dans la haute atmosphère qu'au sol.

Nous avons cependant remarqué que les deux séries de résultats sont étroitement liées. En effet les chimistes indiquent une variation annuelle de la teneur en ozone avec un maximum au printemps et un minimum en automne; c'est exactement ce qu'ont trouvé les physiciens qui font des dosages quotidiens sous la direction de M. Dobson ([3]).

C'est ce qu'indique très nettement le tableau suivant :

([1]) *Annuaire de l'Observatoire de Montsouris*, de 1875 à 1900; *Annales de l'Observatoire municipal* de 1900 à 1909.

([2]) *Journal de Physique*, 5e série, 3, 1913, p. 196.

([3]) *Proceedings of the Royal Society*, **122**, 1929, p. 456.

Mois.	Basse atmosphère en milligrammes pour 100m³ d'air.	Haute atmosphère en millimètres d'épaisseur.
Janvier	1,4	2,93
Février	1,6	2,93
Mars	1,7	3,02
Avril	1,9	3,01
Mai	2,2	3,06
Juin	2,2	2,82
Juillet	2,1	2,72
Août	2	2,49
Septembre	1,7	2,46
Octobre	1,5	2,28
Novembre	1,3	2,29
Décembre	1,4	2,55

Dans la première colonne se trouvent les moyennes mensuelles des dosages effectués à Montsouris pendant 28 ans (1877-1904), dans la deuxième colonne les moyennes mensuelles des mesures effectuées en 1927 à Arosa (¹). Si l'on admet que les couches d'air de la haute atmosphère ne se mélangent que très lentement avec la troposphère, il semble que l'ozone doive exister en proportion appréciable dans les couches inférieures de la stratosphère.

Dans cette hypothèse les mesures (²) sur l'altitude de la couche d'ozone (40 à 50^{km}) n'indiqueraient qu'un maximum de la teneur en ozone, laquelle dans la stratosphère entière serait beaucoup plus élevée qu'au voisinage du sol. Le rapprochement entre des recherches effectuées à des lieux et à des époques différentes montre également l'intérêt considérable qu'il y aurait à effectuer dans une même station et en même temps des dosages chimiques et des dosages spectroscopiques afin de voir s'il est possible de trouver des relations plus étroites entre les hautes couches de l'atmosphère et l'air du sol. En opérant ainsi on pourrait également éclaircir les relations entre la teneur en ozone et les phénomènes météorologiques, relations qui avaient déjà été envisagées (³) par les chimistes de l'Observatoire de Montsouris.

(¹) *Loc. cit.*, note (3) de la page précédente.

(²) Cabannes et Dufay, *Journal de Physique*, 6e série, 8, 1927, p. 125.

(³) Henriet et Bonyssy, *Comptes rendus*, **146**, 1908, p. 977; *Annales de l'Observatoire municipal*, 9, 1908, p. 167.

PHYSIQUE COSMIQUE. — *Sur la nature des rayons ultrapénétrants (rayons cosmiques)*. Note de MM. **Pierre Auger** et **D. Skobelzyn**, présentée par M. Jean Perrin.

Une nouvelle méthode pour l'étude de l'absorption des rayons corpusculaires rapides a été établie récemment par Bothe et Kolhörster. Appliquée aux rayons ultrapénétrants qui arrivent des parties supérieures de l'atmosphère (Höhenstrahlung), elle les a conduits à la conclusion suivante : « Cette radiation, au moins en tant qu'elle se manifeste dans les phénomènes observés jusqu'ici, est du type corpusculaire et non du type γ. » Si l'on doit entendre par là que les rayons corpusculaires qui manifestent leur présence par l'ionisation dans les couches inférieures de l'atmosphère sont primaires, et qu'il n'existe pas de radiation électromagnétique du type γ leur donnant naissance à différents niveaux de sa pénétration, cette conclusion s'accorde mal avec un phénomène découvert récemment par l'un de nous (1) au cours de recherches utilisant la méthode des détentes.

Cette étude a en effet mis en évidence la cause immédiate de l'ionisation attribuée aux rayons ultrapénétrants. Ce sont des rayons β très rapides, dont l'énergie est un multiple élevé de celle des rayons β des corps radioactifs, et dont les trajectoires, non déviées par un champ magnétique de 1500 gauss, se sont montrées dans 27 opérations de détente sur 613.

Deux hypothèses se présentent, au sujet de leur origine : 1° Ces rayons sont primaires, comme le supposent Bothe et Kolhörster, et arrivent directement des espaces cosmiques, ou au moins de la haute atmosphère. 2° Il existe une radiation non directement ionisante, disons ultra-γ, qui donne naissance aux rayons β secondaires observés. Nous allons montrer que certaines particularités des observations citées plus haut ne s'accordent bien qu'avec cette seconde hypothèse.

Il s'agit de l'apparition fréquente (4 fois sur 27 cas) de plusieurs rayons ultra-β simultanés, dans une même opération de détente. Les trajectoires, au nombre de deux ou trois, sont peu distantes les unes des autres, et de directions voisines. Ces trajectoires, qui ne sont évidemment pas indépendantes, pourraient être celles d'un rayon β primaire, et d'un rayon secondaire produit par le premier en un point de son parcours. Mais cette

(1) Skobelzyn, *Naturwiss.*, 17, 1929, p. 271; *Zts. f. Phys.*, 54, 1929, p. 686.

éventualité paraît hautement improbable, vu les directions très rapprochées des deux trajets. Il faut alors admettre l'existence de rayons primaires d'une autre nature, qui ont produit les rayons observés dans une région voisine des appareils. L'interprétation des faits observés devient facile, si cette radiation primaire est du type ultra-γ, et produit des électrons rapides par effet Compton.

Il est à remarquer, en effet, que dans la diffusion d'un rayon γ très dur, l'électron projeté et le quantum diffusé sont émis dans des directions très voisines de celle du quantum primaire (1).

Les deux trajectoires s'accompagneront sur un assez long parcours, et lorsque le quantum sera diffusé une seconde fois, ce qui peut se produire avec une probabilité suffisamment élevée après un parcours réduit par suite de l'abaissement de fréquence qu'il a subi (2), les trajectoires du nouvel électron de Compton et de l'ancien peuvent alors être proches l'une de l'autre, et de direction voisine. Les caractères des trajectoires multiples effectivement observées étant justement ceux-là, on doit considérer ce fait comme un appui solide à l'hypothèse du rayonnement γ primaire (3).

Dans les expériences de Bothe et Kolhörster, deux compteurs à pointe de Geiger sont placés l'un au-dessous de l'autre. L'excitation simultanée des deux détecteurs est attribuée à leur traversée par un même rayon corpusculaire. On voit que le phénomène signalé ici introduit une certaine complication dans l'interprétation des coïncidences observées. Bothe et Kolhörster déduisent de leurs expériences que ces rayons ultra-β ont un pouvoir pénétrant analogue et même peut-être identique à celui de la radiation cosmique. Il est à remarquer que, d'après le calcul de l'un de nous, les composantes les plus pénétrantes de la radiation ultra-γ produisent par effet

---

(1) D'après les nouveaux résultats de Klein-Nishina, on aurait pour la composante la plus pénétrante des rayons ultra-γ : $\lambda = 0{,}013$ U. X (le nombre 0,018 indiqué dans le travail cité provient d'une erreur). Pour cette fréquence (soit ν), on peut calculer que l'énergie moyenne des électrons de Compton est $E = 0{,}85\, h\nu$. Cela correspond à un angle de diffusion de $4^\circ{,}5$ pour le quantum, et un angle de projection de $0^\circ{,}8$ pour l'électron.

(2) Le coefficient d'absorption du quantum diffusé est par exemple d'environ $0{,}2\, m^{-1}$ dans l'eau. Le parcours réel de l'électron de recul semble être de l'ordre de $8\, m$ dans ce milieu.

(3) Dans le travail situé plus haut, l'un de nous a supposé que les rayons β associés provenaient d'un même centre d'émission. L'interprétation donnée ici avait échappé à l'auteur, mais convient évidemment à l'ensemble des résultats. L'hypothèse d'une action sur les noyaux paraît d'ailleurs insuffisante pour des raisons de probabilité.

Compton des rayons β dont le pouvoir pénétrant peut dépasser celui des composantes les moins pénétrantes de cette même radiation.

Le coefficient d'absorption $\left(\frac{\mu}{\rho} = 3{,}6 \, . \, 10^{-3}\right)$ indiqué par Bothe et Kolhörster semble en accord, au moins pour l'ordre de grandeur, avec les résultats de ce calcul.

PALÉONTOLOGIE. — *Sur les Foraminifères enveloppants des oolithes et des pisolithes.* Note de M. **Louis Dangeard**, présentée par M. L. Cayeux.

Les oolithes et les pisolithes trouvées dans des terrains sédimentaires d'âges divers, ont fourni de nombreux restes d'organismes dont les principaux sont les suivants : 1° Débris coquilliers, fragments de tiges d'Encrines, Foraminifères, etc., servant souvent de noyaux autour desquels se sont déposées les couches concentriques; les débris coquilliers peuvent être traversés par de multiples Algues perforantes ([1]); 2° organismes enveloppants; 3° traces attribuables sans doute à des Bactériacées ([2]).

Des organismes enveloppants ont été signalés et étudiés anciennement par Wethered ([3]) et par Bleicher ([4]). Récemment, M. J. de Lapparent, en les signalant dans le calcaire oolithique carbonifère du Boulonnais, dans les faciès oolithiques du Calcaire coquillier de Lorraine et d'Alsace, dans l'oolithe bathonienne d'Alsace, les attribuait avec doute aux Algues ([5]).

Cependant, Gaub, dans une série de Notes qui ne semblent pas avoir attiré l'attention en France, a décrit et figuré un Foraminifère enveloppant bien caractérisé, trouvé dans le Jurassique d'Allemagne et dénommé par lui *Ophthalmidium oolithicum* ([6]).

Les observations suivantes montrent que les Foraminifères enveloppants

---

([1]) L. Cayeux, *Existence de nombreuses traces d'Algues perforantes dans les minerais de fer oolithiques de France* (*Comptes rendus*, 158, 1914, p. 1539).

([2]) L. Dangeard, *Sur les Bactériacées des minerais de fer oolithiques* (*Comptes rendus*, 188, 1929, p. 1616).

([3]) Wethered, *The formation of Oolithe* (*Q. J. G. S.*, 55, 1895, p. 196).

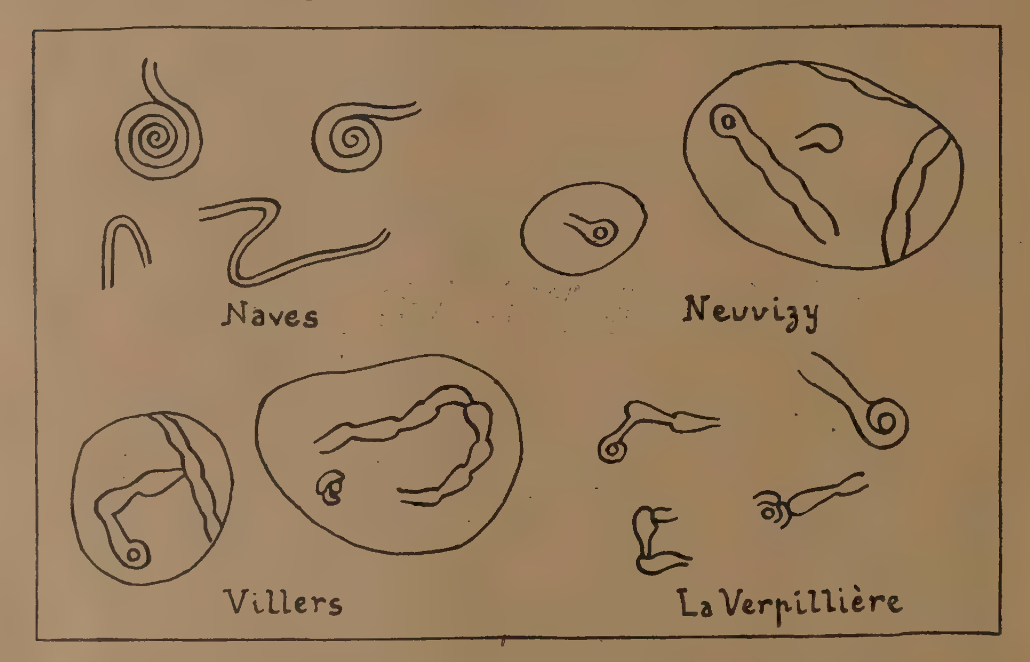
([4]) Bleicher, *Sur la structure microscopique des oolithes du Bathonien et du Bajocien de Lorraine* (*Comptes rendus*, 114, 1892, p. 1138).

([5]) J. de Lapparent, *Leçons de Pétrographie*, Masson, 1923, p. 285, 288, 337.

([6]) F. Gaub, *Die jurassischen Oolithe der Schwäbischen Alb.* (*Neues Jahrb. für Min.*, 2, 1908, p. 87).

tiennent souvent une place importante dans les oolithes tant ferrugineuses que calcaires. Je n'examinerai pas, dans cette Note, le rôle que peuvent jouer les organismes enveloppants autres que les Foraminifères et les organismes perforants.

a. Les grosses concrétions ferrugineuses, à structure concentrique, du Lias supérieur de Naves (Ardèche), montrent, à la surface de plusieurs feuillets, de nombreux tubes contournés, vermiformes, dont l'extrémité est souvent enroulée en spirale (voir figure). On observe également des colo-



nies de Bryozoaires. Certains de ces tubes semblent bien appartenir à des Foraminifères voisins de *Hyperammina* (*Astrorhizidæ*) et de *Ammodiscus* (*Lituolidæ*). Notons que Haeüsler a signalé ces deux genres dans le Jurassique de Suisse [1].

Les mêmes tubes contournés, vermiformes, s'observent sur les pisolithes du Bajocien de Bayeux.

b. Les oolithes ferrugineuses de l'Oxfordien de Neuvizy (Ardennes) montrent, appliqués à la surface de différentes écailles, des tubes courbes, non cloisonnés, renflés en chambres ayant une longueur de $0^{mm},2$ en

[1] HAEÜSLER, *Notes on some Upper Jurassic Astrorhizidae and Lituolidae* (*Q. J. G. S.*, 39, 1883, p. 25).

moyenne; la section de ces tubes est aplatie ou concave vers le centre de l'oolithe et renflée de l'autre côté. Les tubes débutent par une partie arrondie, contenant généralement une première loge globuleuse de $0^{mm},05$ de diamètre (voir figure). Ce Foraminifère ressemble beaucoup à l'*Ophthalmidium* décrit par Gaub, tout en différant des espèces actuelles d'*Ophthalmidium* (*Miliolidæ*) étudiées par Brady [1].

J'ai observé de beaux échantillons de Foraminifères semblables (voir figure) dans des oolithes calcaires (Bathonien de Lorraine, Oxfordien de Villers, Calvados, Jurassique de Champvans-les-Dôle, Jura) et dans de très nombreuses oolithes ferrugineuses (Lias supérieur de La Verpillière, Isère, Bajocien de Bayeux, Calvados, Callovien de Doux, Deux-Sèvres, Oxfordien de Neuvizy, de Villers, de Saint-Julien-Clenay, Côte-d'Or). La liste des gisements pourra, sans aucun doute, être considérablement augmentée.

Les premières loges de ces Foraminifères montrent souvent de grandes variations dans le mode d'enroulement et dans la forme et il est possible que plusieurs types soient représentés dans cette faune si particulière des oolithes.

Les Foraminifères enveloppants pullulent dans les oolithes; ils ont une répartition géologique et géographique considérable. On les observe dans des oolithes ayant moins de 1^{mm} de diamètre de même que dans des pisolithes ayant plusieurs centimètres de longueur. Dans une même oolithe ils sont appliqués à la surface de nombreuses écailles. Ils cimentent parfois deux oolithes faisant partie d'une oolithe composée.

Leur étude est donc importante. Elle contribue à nous documenter sur les conditions du milieu dans lesquelles les oolithes et les pisolithes se sont formées.

BIOLOGIE GÉNÉRALE. — *L'état de jeûne, condition nécessaire, mais non suffisante, de la conjugaison expérimentale de l'Infusoire* Glaucoma scintillans. Note de M. **Édouard Chatton** et Mme **M. Chatton**, présentée par M. F. Mesnil.

Nous avons reconnu comme simultanément nécessaires quatre conditions de la conjugaison du *Glaucoma scintillans* : A, trois conditions générales

(1) Brady, *Report on the Foraminifera* (*Scient. Results. Challenger, Zoölogy*, 9, 1884, p. 188).

dont deux biologiques, la crise culturale et le délai zygogène (temps nécessaire à la flexion sexuelle) et une physique : pH maximal = 8,00; B, une condition spéciale : nature de l'agent zygogène Nous attachant à préciser la nature et le mode d'action de chacun de ces facteurs, nous avons montré récemment ici que les facteurs de la catégorie B ($CaCl^2$, Fe^2Cl^3, acide pyruvique) ont une action directe indépendante de celle des bactéries puisqu'ils agissent aussi bien en cultures léthobactériennes qu'en cultures sur bactéries vivantes. Le but de cette Note est de chercher à préciser l'une des conditions de la catégorie A, la crise trophique ou crise culturale. C'est l'état de la culture défini par le fait que les Infusoires ont cessé de se nourrir et de se multiplier. Il s'établit dans nos cultures entre le quatrième et le cinquième jour. A partir de ce moment, les Infusoires survivent encore une quinzaine de jours en diminuant progressivement de nombre et de taille. Nous considérions, au début de nos recherches, cet état d'inanition des Ciliés comme dû pour une part au défaut d'aliment, pour une autre part à une intoxication par leurs déchets et ceux des bactéries. Nous avons acquis, depuis, la certitude que, seul, le défaut d'aliment est ici en cause. On provoque, en effet, une nouvelle poussée infusorienne par l'apport d'aliment bactérien. Des poussées infusoriennes secondaires peuvent aussi se produire dans des cultures non rechargées, quand une poussée bactérienne secondaire s'effectue elle-même aux dépens des Infusoires morts du fait de la crise.

Les deux autres conditions générales (délai zygogène et pH convenable) étant réalisées, ce n'est jamais qu'à partir du moment où la culture entre en inanition que les agents zygogènes spécifiques exercent leur action. Même ajoutés au milieu en même temps que l'ensemencement du complexe Cilié-Bactérie, ils ne manifestent en rien leur influence tant que dure la poussée infusorienne. Mais, dans ces conditions, et chaque fois d'ailleurs qu'ils sont présents dans le milieu depuis un temps tel que le délai zygogène soit révolu quand débute la crise, les premiers couples coexistent avec les dernières scissions. A en juger d'après leur taille, les conjugants sont toujours des individus qui ne se sont point accrus depuis leur dernière division. Quand des poussées infusoriennes secondaires se produisent dans la culture, elles empêchent l'apparition d'une « épidémie » de conjugaison imminente, ou arrêtent le développement d'une épidémie déclarée. Tout se passe donc comme s'il y avait inhibition de la zygose par la nutrition ou la multiplication.

Les deux conditions générales A étant réalisées, la présence du facteur

spécifique détermine toujours la zygose au moment de la crise trophique. Il s'agit de savoir si cette sensibilité des Infusoires aux facteurs spécifiques se prolonge aussi longtemps que ceux-ci survivent à la crise trophique ou si elle est limitée au temps même de son installation. Quoique les apparences soient presque toujours en faveur du deuxième terme de l'alternative, c'est le premier qui correspond à la réalité. Le résultat dépend des conditions de l'expérience. Quand le facteur spécifique est introduit avant la crise (compte tenu du délai zygogène), la zygose apparaît dans la culture, à la fois massive et éphémère (jusqu'à 80 pour 100 de couples pendant une vingtaine d'heures), puis cesse complètement. La même zygose massive et éphémère est déterminée, au terme du délai zygogène, par l'introduction du même facteur un temps quelconque après la crise. Ici l'action des facteurs spécifiques est très passagère parce que les Ciliés neutralisent rapidement l'acidité produite ou développée par les facteurs zygogènes. Par contre, le glucose, qui n'est pas actif par lui-même, mais qui agit par les produits de sa fermentation, détermine une zygose prolongée, une zygose chronique parce qu'il laisse diffuser, au fur et à mesure de sa dégradation, le facteur spécifique, en maintenant le pH dans la zone convenable. Les Ciliés restent donc aptes à la zygose bien après l'installation de la crise trophique.

Ces constatations vont à l'encontre de la thèse selon laquelle c'est, non point l'état de jeûne, mais le brusque passage d'un régime nutritif abondant à un régime déficient, qui induit les Ciliés à la conjugaison. D'ailleurs, toutes les expériences que nous avons faites pour déterminer la zygose par ce moyen différentiel (transport par centrifugation d'une culture d'un milieu riche à un milieu pauvre ou à l'eau) sont restées négatives quand les deux autres facteurs généraux et le facteur spécifique faisaient défaut, mais on faisait apparaître les couples dès que ces trois conditions étaient réalisées.

Formulons nos conclusions tant positives que négatives :

1° La zygose n'est pas la conséquence d'une multiplication intense et prolongée (*contra* Bütschli).

2° Aucune des trois conditions internes essentielles de Maupas : sénescence, maturité eugamique, ascendance hétérogène n'est requise (cf. Paolo Enriques). Par contre, l'inanition donnée par Maupas comme simplement adjuvante, quoique utilisée par lui comme moyen de se procurer des couples, et dont l'importance a été affirmée par Paolo Enriques et Zweibaum contre Calkins, est toujours nécessaire.

3° L'inanition n'est jamais une condition suffisante. La nécessité de l'ac-

tion simultanée des trois autres facteurs : pH convenable, délai zygogène et facteur spécifique, explique les résultats inconstants de tous nos prédécesseurs et la tendance de la plupart d'entre eux à invoquer, comme Maupas, l'influence de causes internes (Konjugationstendenz de R. Hertwig, races conjugantes de Jennings, capacité et préparation à la zygose de Zweibaum). Il est tout à fait probable, d'ailleurs, que certains de ces facteurs, en particulier les facteurs spécifiques, varient avec les genres et les espèces d'Infusoires.

4° L'inanition agit en tant qu'état durable et non en tant que facteur différentiel (diminution brusque de l'aliment) (contrà Maupas, Paolo Enriques, Zweibaum).

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Sur les ferments solubles sécrétés par les Champignons Hyménomycètes. Les constituants phénoliques des essences et la fonction antioxygène.* Note [1] de M. L. **Lutz**, présentée par M. L. Mangin.

Tout comme celle des tanins, la question du rôle biologique des huiles essentielles est des plus obscures et des plus controversées. Les travaux d'un certain nombre d'auteurs, entre autres ceux de Charabot, Laloue et Hébert ont bien montré que divers constituants des essences, notamment les alcools, subissent, au cours de l'existence de la plante, des modifications presque constantes, principalement des oxydations et des éthérifications, lesquelles sont maxima vers l'époque de la floraison. De plus, des diminutions du pourcentage des principaux de ces constituants après cette époque et lors de la formation des graines, ont conduit à admettre l'utilisation possible d'une partie au moins de ces huiles essentielles à la manière de substances de réserve.

La fréquence des phénomènes d'oxydation observés sur de nombreux constituants des essences m'a engagé à les opposer individuellement aux catalyses oxydo-réductrices provoquées par les mycéliums vivants de Champignons Hyménomycètes, en vue de rechercher si l'oxydabilité de certains d'entre eux était suffisante pour en faire éventuellement, au sein de la cellule, de véritables antioxygènes.

La technique des essais consiste, comme à l'ordinaire, à incorporer les corps choisis à des milieux artificiels additionnés d'un test réductible (bleu de méthylène) dont les virages de teinte seront d'autant plus rapides et

(1) Séance du 24 juin 1929.

énergiques que le corps essayé sera lui-même plus nettement oxydé par les oxydases sécrétées par le Champignon ensemencé.

La première série d'expériences a été effectuée sur les constituants phénoliques des essences. On a ainsi utilisé :

1° Phénols à chaîne latérale saturée : métacrésol, paracrésol, thymol, carvacrol (1 OH libre); 2° diphénol à chaîne latérale saturée ; créosol (2 OH libres); 3° phénol-éther de phénol (sans chaîne latérale non saturée) : gaïacol (1 OH libre); 4° phénol-éther de phénol (avec chaîne latérale non saturée) : eugénol (1 OH libre); 5° éthers de phénols (à chaîne latérale non saturée) : *a.* anéthol, méthyleugénol (plus d'OH libre); *b.* myristicine, apiol (plus d'OH libre, mais les 2 O des OH liés à un seul CH^3); 6° enfin un éther à fonction phénolique : salicylate de méthyle (1 OH libre).

Les Champignons choisis ont été : *Stereum purpureum*, *S. hirsutum* et *Coriolus versicolor*.

Il a été incorporé aux milieux nutritifs artificiels habituels : 1° du bleu de méthylène (I goutte de solution à 0,25 pour 100 par centimètre cube); 2° II gouttes de solution ou d'émulsion aqueuse à 1 pour 100 des divers composés à étudier, sauf pour le thymol et le carvacrol qui se sont montrés toxiques à cette dose et dont la proportion a été réduite à I goutte.

Après ensemencement, les tubes ont été abandonnés à la température du laboratoire.

Avec les corps possédant 1 ou 2 OH libres, la réduction du bleu de méthylène a été considérablement accélérée : le créosol en particulier a fourni une réaction remarquable d'intensité. Par contre, les éthers de phénols n'ayant plus d'OH libre (anéthol, méthyleugénol) n'ont manifesté qu'une action à peu près nulle. La myristicine et l'apiol pour lesquels les liaisons des 2 O des OH se fixent sur un seul CH^3, montrent à la longue une très légère activité, mais quand même de minime importance.

Quant à l'éther à fonction phénol (salicylate de méthyle), qui possède 1 OH libre, il se conduit comme les phénols non éthérifiés et accélère notablement les réactions de réduction.

Dans leur ensemble, les constituants phénoliques des essences, toutes les fois que leurs fonctions phénol ne sont pas éthérifiées, se conduisent comme les phénols ordinaires vis-à-vis des réactions d'oxydo-réduction provoquées par les ferments solubles sécrétés par les Hyménomycètes : ils dérivent sur eux-mêmes les actions oxydantes et laissent les réductrices s'exercer dans leur plénitude sur les autres corps moins oxydables. Ils jouent ainsi le rôle d'antioxygènes dans ce complexe de réactions.

MÉDECINE EXPÉRIMENTALE. — *Essais d'immunisation de l'homme au moyen d'une anatoxine du streptocoque scarlatineux.* Note de MM. **G. Ramon** et **Robert Debré**, présentée par M. Roux.

Sur les bases de la préparation de l'anatoxine diphtérique, établie par l'un de nous, nous avons préparé, en partant du filtrat de cultures du streptocoque scarlatineux, un produit qui possède les propriétés fondamentales d'une anatoxine ([1]). Il en présente l'innocuité caractéristique; en effet, il peut être injecté à hautes doses sous la peau de l'homme, sans manifester cette nocivité bien spéciale qu'offre le filtrat du streptocoque scarlatineux pour le sujet humain réceptif. De plus, il est doué d'un pouvoir antigène intrinsèque spécifique, appréciable *in vito* au moyen de la réaction de floculation ([2]).

Avec cette anatoxine du streptocoque scarlatineux nous avons entrepris chez l'homme des essais d'immunisation active, en collaboration avec M[lle] C. Petot.

Au cours de ces essais, trois échantillons d'anatoxine : A, B et C, ont été utilisés. Chacun d'eux provient d'un filtrat de streptocoques scarlatineux différents, obtenu en ensemençant les milieux de culture avec plusieurs souches Dick.

Les doses de formol utilisées pour transformer les filtrats en anatoxines ont varié entre 4 et 5^{cm^3} par litre; le séjour à l'étuve à duré, pour l'échantillon A, six semaines et 1 mois seulement pour les échantillons B et C. La valeur antigène intrinsèque de chacun de ces échantillons a été appréciée au moyen du sérum provenant d'un cheval traité par des bouillons de culture de streptocoques scarlatineux. L'échantillon A flocule (floculation

---

([1]) Depuis la mise en évidence de l'anatoxine diphtérique, plusieurs expérimentateurs (en particulier Zoeller, Sparrow) ont fait agir, dans des conditions diverses, le formol et la chaleur sur le filtrat du streptocoque scarlatineux, et ont obtenu un produit que certains d'entre eux ont dénommé « anatoxine ». A vrai dire, ces filtrats formolés ne répondent pas exactement à la définition d'une anatoxine, faute, en particulier, de l'évaluation du pouvoir antigène intrinsèque. Nous-mêmes, ces derniers temps, en apportant quelques modifications à notre technique habituelle, avons préparé un antigène qui possédait encore un reste de la toxicité spécifique du filtrat non modifié et qui, de ce fait, ne méritait pas le nom d'anatoxine.

([2]) G. Ramon, R. Martin et A. Lafaille, *Comptes rendus*, **186**, 1928, p. 1452, et *C. R. Soc. Biol.*, **99**, 1928, p. 734.

initiale) avec $0^{cm^3},015$ de sérum et cette floculation est lente (50 heures), les échantillons B et C floculent avec $0^{cm^3},0225$ et cette floculation est plus rapide (floculation en 24 et 22 heures).

La technique des injections a été la suivante : première injection $0^{cm^3},5$ d'anatoxine, puis après un intervalle de trois semaines, deuxième injection de 1^{cm^3}, et enfin 15 jours après celle-ci, troisième injection de $1^{cm^3},5$ à 2^{cm^3}.

Seuls ont été soumis aux injections les sujets chez qui l'épreuve de Dick pratiquée au préalable s'est montrée positive [1] soit 171 enfants et 40 adultes, mais nous ne tiendrons compte ici que de 99 observations, concernant des sujets ayant reçu trois injections (ou exceptionnellement deux, l'épreuve de Dick effectuée chez quelques sujets après la deuxième injection s'étant révélée négative).

Les injections ont été bien supportées quel que soit l'échantillon d'anatoxine : nous avons seulement constaté une certaine rougeur locale, avec un gonflement plus ou moins marqué au point d'injection. Exceptionnellement, une réaction générale peu intense (fièvre passagère de 38° à 38°,5, sensation de fatigue).

Une épreuve de Dick, de contrôle, pratiquée en règle générale, vingt jours après la troisième injection, a permis de se rendre compte du pourcentage des individus qui, sous l'influence des injections d'anatoxine, ont acquis une immunité suffisante pour que cette épreuve soit négative. Les résultats ont été les suivants :

Avec l'anatoxine A : 11 sujets sur 13 ont reçu 3 injections; chez 2 seulement la réaction de Dick est devenue négative; 2 ont reçu une injection supplémentaire, chez un d'entre eux la réaction de contrôle a été douteuse (±).

Avec les anatoxines B et C : 86 sujets traités. Tous ont reçu 3 injections, sauf un, qui en a reçu 4; chez 76 d'entre eux, l'épreuve de contrôle a été absolument négative, chez 6 douteuse (±), chez 4 elle est restée positive.

Les différences de valeur antigène intrinsèque entre les deux catégories d'anatoxine (A d'une part, B et C d'autre part) qui nous avaient été révélées *in vitro* par la floculation, ont été parfaitement confirmées par les essais chez l'homme puisque, avec l'anatoxine A, on ne fait virer la réaction de

---

(1) Nous apprécions la réaction de Dick en nous soumettant aux règles générales établies par les auteurs américains, mais nous injectons dans le derme une dose double de celle proposée par G. H. et G. F. Dick, Robert Debré, Lamy et Bonnet, *C. R. Soc. Biol.*, 96, 1927, p. 244.

Dick que chez 3 sujets sur 13, alors qu'avec les anatoxines B et C, la réaction devient négative chez 76 sujets sur 86 ou (en tenant compte des virages incomplets) chez 80 sujets sur 86.

Ainsi avec des échantillons d'anatoxine de streptocoque scarlatineux possédant une valeur antigène intrinsèque (déterminée par la floculation) suffisamment élevée, nous avons pu réaliser chez l'homme, une immunité telle que la réaction de Dick devienne totalement négative chez 88,37 pour 100 des sujets, et totalement ou partiellement négative chez 93,02 pour 100. Il ne semble pas que l'on ait pu jusqu'à présent, avec une technique aussi simple, obtenir un tel pourcentage de résultats favorables.

L'avenir nous apprendra si l'immunité que nous avons ainsi conférée avec cette anatoxine du streptocoque scarlatineux est durable et surtout si elle constitue bien une immunité active vis-à-vis de la scarlatine.

MÉDECINE EXPÉRIMENTALE. — *Mécanisme de l'état réfractaire naturel des simiens inférieurs à l'égard du virus herpéto-encéphalitique.* Note de MM. C. **Levaditi** et P. **Lepine**, présentée par M. Roux.

Levaditi et Nicolau [1] ont montré que les simiens inférieurs, en général résistants au virus herpéto-encéphalitique inoculé dans l'encéphale, peuvent, par suite d'un fléchissement de l'état réfractaire naturel, contracter une encéphalite soit aiguë, soit chronique, et réaliser, dans ce dernier cas, une de ces « neuro-infections mortelles autostérilisables » décrites par Levaditi, Sanchis-Bayarri et Schoen [2]. Poursuivant ces recherches [3] sur le *Cercopithecus callithrix*, et en nous servant de souches herpétiques humaines, nous avons prouvé qu'il était possible de réaliser ce fléchissement de l'état réfractaire naturel, en répétant les inoculations virulentes intracérébrales; tout se passe comme si le renouvellement de ces inoculations épuisait les moyens défensifs du névraxe.

Au cours de nos expériences, nous avons constaté cependant que certains callitriches résistaient indéfiniment à de multiples injections transcraniennes même de souches herpétiques ayant subi un ou plusieurs passages sur le singe, telle notre souche *NS*. Nous nous sommes demandé quel était le

---

[1] Levaditi et Nicolau, *C. R. Soc. Biol.*, 90, 1924, p. 1371.
[2] Levaditi, Sanchis-Bayarri et Schoen, *C. R. Soc. Biol.*, 98, 1928, p. 911.
[3] Levaditi et Lépine, *Comptes rendus*, 188, 1929, p. 518.

sort du germe introduit dans le névraxe de ces simiens jouissant d'une immunité naturelle pour ainsi dire irréductible. Pour résoudre ce problème, nous nous sommes servi d'une méthode nouvelle (Lépine) consistant à pratiquer des ponctions cérébrales aspiratrices et à inoculer la masse aspirée à des animaux réceptifs. On peut ainsi suivre pas à pas l'évolution de l'infection.

Nous avons appliqué cette méthode à deux simiens, dont l'un, le *Macacus cynomolgus* n° 24, était réceptif d'emblée, et dont l'autre, le *Cercopithecus callithrix* n° 13, jouissait d'une immunité irréductible. Nous avons inoculé à ces deux simiens, par voie intra-cérébrale, une émulsion de notre souche herpétique *NS*. Voici les résultats obtenus :

Singe réceptif (*Macacus cynomolgus* n° 24). — Cinq ponctions cérébrales ont été pratiquées 24 heures, 48 heures, 3, 4 et 7 jours après l'inoculation, tantôt à gauche (hémisphère inoculée), tantôt à droite. Le produit aspiré a été inoculé chaque fois dans le cerveau d'un lapin. *Résultat :* seules les deux premières ponctions (24 et 48 heures) sont restées négatives ; toutes les autres ont fourni des résultats positifs, en ce sens que les lapins inoculés ont succombé à une encéphalite herpétique confirmée par des passages et des examens histologiques. Le *Macacus* n° 24 est mort le 9e jour avec des altérations typiques et intenses d'encéphalite herpétique ; son encéphale contenait une quantité considérable de virus.

Singe naturellement réfractaire (*Cercopithecus callithrix* n° 13). — Le 8 et le 22 janvier, le 1er, le 9 et le 21 février, injection sous-duremérienne de notre souche herpétique *NS*. L'animal résiste parfaitement. Le 25 mai, sixième inoculation, par la même voie, de la même souche. Trois ponctions ont été pratiquées le 3e, le 5e et le 9e jour, soit à partir du moment où l'encéphale du singe précédent s'était montré virulent. *Toutes ces ponctions sont restées totalement négatives.* L'animal a été sacrifié 17 jours après la dernière inoculation. *Son cerveau était totalement dépourvu d'altération herpétique* et fut incapable de conférer l'encéphalite au lapin.

Cette expérience prouve qu'introduit dans le névraxe d'un simien réceptif, le virus herpéto-encéphalitique, après une période d'hésitation durant 24 à 48 heures, se met à pulluler progressivement jusqu'à la mort de l'animal par encéphalopathie aiguë. Par contre, injecté dans le système nerveux d'un singe jouissant d'une immunité naturelle irréductible, le même virus subit une destruction rapide et totale. Le germe est annihilé, avant même qu'il ait eu le temps de produire des altérations histologiques appréciables.

Par quel mécanisme cette stérilisation du névraxe s'opère-t-elle chez les animaux naturellement résistants ? L'un de nous [Levaditi (1)] a montré que le *neurovaccin*, injecté dans l'encéphale des lapins ayant acquis l'immunité antivaccinale, y est détruit dès la deuxième heure et qu'il en est de

(1) Levaditi et Nicolau, *Annales de l'Institut Pasteur*, 37, 1923, p. 1.

même des *toxoplasmes* administrés par voie sous-duremérienne à des animaux réfractaires [Levaditi et Lépine ([1])]. Dans ces cas, la stérilisation du névraxe est intimement liée à la présence d'altérations chroniques traduisant le passage du virus dans le système nerveux; elle en est la conséquence, en ce sens que les éléments cellulaires constitutifs de ces lésions chroniques, éléments appartenant à la série microglique et lymphocytaire, représentent l'arme défensive prête à assurer la destruction du germe.

Il ne semble pas en être de même chez les simiens *naturellement réfractaires*. Ici nos expériences montrent que ni le sérum sanguin (Callitriche, n° 13), ni le cerveau (émulsion épaisse centrifugée) ne sont capables de neutraliser *in vitro* notre souche herpétique *NS*. Par ailleurs, l'encéphale, ainsi que nous l'avons dit, nous apparaît dépourvu de toute altération à caractère aigu ou chronique. Force nous est de conclure que *le mécanisme présidant à la destruction du virus chez les simiens jouissant d'une immunité naturelle, est sensiblement différent de celui qui assure la même destruction chez les animaux à état réfractaire acquis*. Les moyens défensifs, d'origine certainement non humorale, mais tissulaire, entrent en jeu en dépit de l'absence d'altérations saisissables au microscope.

Conclusions. — 1° *Le virus herpéto-encéphalitique introduit dans l'encéphale des singes réceptifs peut y être décelé par la méthode des ponctions cérébrales, à partir du troisième jour. Il y pullule progressivement* ([2]), *jusqu'à la mort de l'animal par encéphalopathie herpétique aiguë;*

2° *Le même virus, administré dans le cerveau des singes jouissant d'une immunité naturelle irréductible, s'y détruit rapidement sans laisser de traces décelables histologiquement;*

3° *Le mécanisme de l'immunité naturelle de certains simiens à l'égard du germe herpéto-encéphalitique semble donc différent de celui qui préside à l'état réfractaire acquis*, en ce sens que tout en étant de nature tissulaire, la défense ne paraît pas exiger la présence d'altérations d'encéphalite chronique.

A 15^h45^m, l'Académie se forme en Comité secret.

La séance est levée à 16^h.

É. P.

([1]) Levaditi, Lépine et Schoen, *C. R. Soc. Biol.*, 99, 1928, p. 1219.

([2]) Cette pullulation progressive du virus se traduit, dans nos expériences, par un raccourcissement également progressif de la période d'incubation et l'intensification des lésions histologiques chez les animaux d'épreuve.